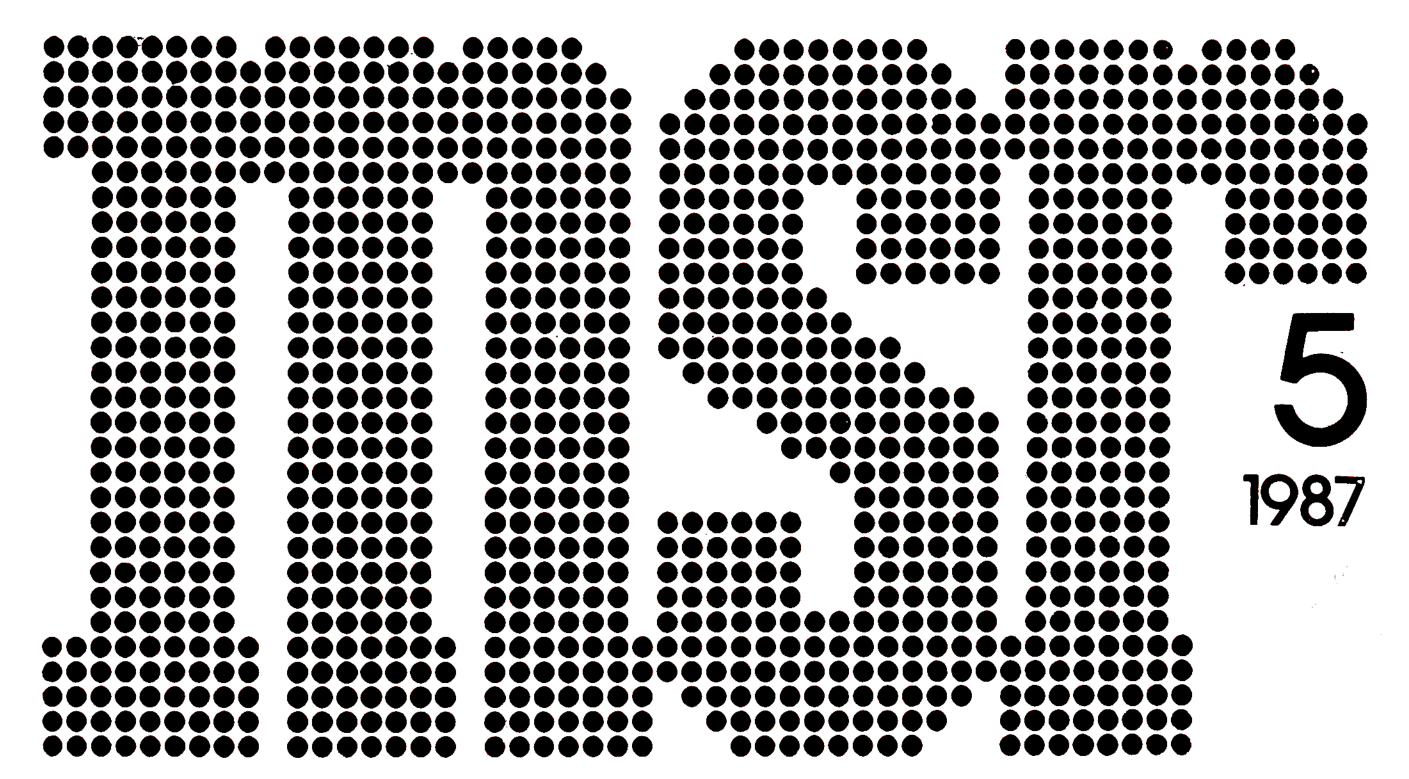



# messen · steuern · regeln

$T_r/T_o$ ↑

R

$R_E$

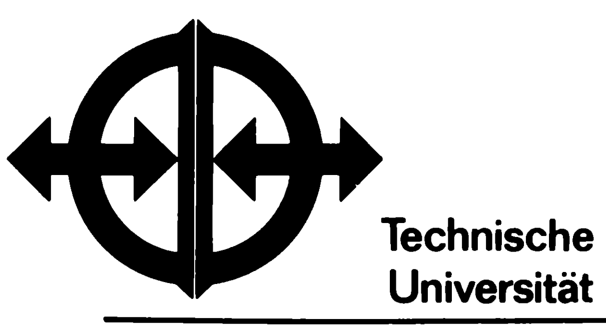
$T_r^*/T_o$

r/R →




VEB
Verlag Technik
Berlin
EVP: 4,- M

Wissenschaft und Bildung
Ihr
Partner:



Technische
Universität
„Otto von Guericke"
Magdeburg

## Moderne Ausbildung für die Automatisierungstechnik

Fachrichtung „Technische Kybernetik/Automatisierungstechnik"

. im Direktstudium (4 1/2 Jahre)
. im Fernstudium (5 3/4 Jahre)

diverse Weiterbildungslehrgänge

Postgradualstudium „Automatisierung im Maschinenbau"

Forschungsstudium und Aspiranturen in den Spezialisierungsrichtungen

. Theorie der automatischen Steuerung
. Prozeßmeßtechnik und sensornahe Elektronik
. Geräte und Anlagen der Automatisierungstechnik, Feldbussysteme
. Automatisierung elektrischer Antriebe

## Forschungspartner der Industrie

Meß- und automatisierungstechnische Lösungen für Erzeugnisse des Schwermaschinen- und Anlagenbaus, z. B.

. Kabel- und Verseilmaschinen Walzwerke
. Industrieöfen

Partner: Kombinate des Industriebereiches Schwermaschinen- und Anlagenbau

Meß- und automatisierungstechnische Lösungen für Aggregate und Anlagen z. B.

. Automatisierung elektrischer Antriebe
. Komponenten für Steuerungssysteme und Industrierobotersteuerungen sowie für Prozeßleitsysteme
. Feldbussysteme für die Kleinautomatisierung
. wissenschaftlich-technische Leistungen für die Entwicklung, Projektierung und den Einsatz von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen
. moderne Regelungsalgorithmen für MR-Regler

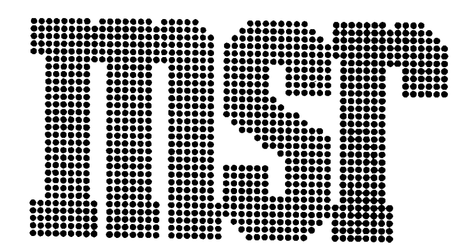
Partner: Kombinate des Industriebereiches Elektrotechnik, Elektronik, der Chemischen Industrie und der Wasserwirtschaft

Elektrotechnologische Verfahren und Einrichtungen zur Materialbearbeitung als Beitrag für eine automatisierte Fertigung, z. B.

. elektroerosive Trennverfahren
. wirtschaftliche Schweißstromquellen, Schweißroboter
. Hochenergieimpulsverfahren in der Gießereitechnik (Entsanden, Entkernen)
. Plasmaverfahren bei der Oberflächenvergütung

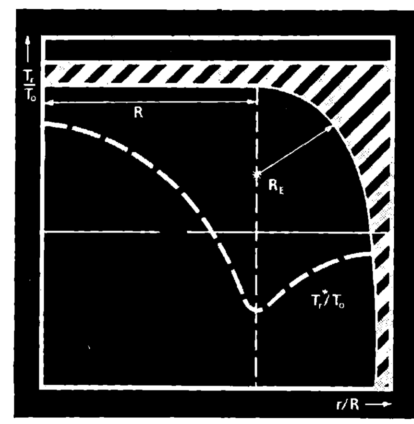
Partner: Kombinate der Metallurgie und metallverarbeitenden Industrie, Gießereien

Anfragen sind zu richten an:
Technische Universität „Otto von Guericke" Magdeburg,
Sektion Automatisierungstechnik und Elektrotechnik
PSF 124
Magdeburg
3010
DDR




**messen·steuern·regeln**

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik


Die Entwicklung von Halbleiter-Präzisionsdruckwandlern stellt hohe Anforderungen an deren Entwurf, um kleinste Fehler zu erreichen. Die Berechnung der mechanischen Kenngrößen des Siliziumverformungskörpers mit rechnergestützten Methoden bildet einen besonderen Schwerpunkt. Unser Titelbild zeigt den Vergleich der Radialspannungen nach der klassischen Theorie und mit der Methode der finiten Elemente bei realer Einspannung. Näheres über Entwurf, Technologie, Kennwerte und Geräteausführungen vermittelt der Beitrag auf S. 194.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*


Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT



Redaktionsbeirat:

Dr. rer. nat. A. Borgwardt, Prof. Dr. sc. techn. G. Brack, Dipl.-Ing. H.-H. Ehlert, Prof. Dr. sc. techn. W. Fritzsch, Prof. Dr. sc. techn. H. Fuchs, Dr. rer. nat. H. Gena, Dipl.-Ing. H. Gottschalk, Dr.-Ing. K. Hilscher, Prof. Dr.-Ing. habil. D. Hofmann, Dipl.-Ing. K. Keller, Dr.-Ing. G. Meister, Dr.-Ing. J. Müller, Prof. Dr. sc. techn. R. Müller, Prof. Dr. sc. techn. P. Neumann, Prof. Dr.-Ing. S. Pilz, Prof. Dr. sc. techn. K. Reinisch, Prof. Dr. sc. techn. W. Richter, Dr.-Ing. H. Schulze, Prof. Dr. sc. techn. H. Töpfer, Prof. Dr. sc. oec. G. Viehweger, Prof. Dr. sc. techn. J. Wernstedt





30. Jahrgang
Mai 1987

VEB
VERLAG TECHNIK

*F. Löffler; R. Werthschützky*

# Piezoresistive Drucksensoren für die Automatisierungstechnik (Teil 1)

## 0. Einleitung

Elektrische Drucksensoren werden zur Messung von Über-(Luftdruck als Referenzdruck), Unter-, Differenz-, Niveau- und Absolutdruck (Vakuum als Referenzdruck) hergestellt. Differenzdrucksensoren werden vorzugsweise zur Durchflußmessung mittels Meßblende verwendet. Obwohl Temperatursensoren nach der Stückzahl dominieren, haben die Drucksensoren mit etwa 40% den größeren Anteil am Wertumfang der Produktion von elektrischen Sensoren zur Messung nichtelektrischer Größen (Kraft, Beschleunigung, Temperatur, Strahlung) [1].

Die meisten Anwendungsfälle der Druckmeßtechnik erfordern Messungen bei tiefen Frequenzen einschließlich quasistatischer Vorgänge bis zu Frequenzen von ($10^{-4}$ ... $10^{-7}$) Hz. Hierfür werden elektromechanische Sensoren mit Hilfsenergie, die nach [2] als aktive Sensoren bezeichnet werden, verwendet. Die Umwandlung der Meßgröße Druck in eine mechanische Spannung oder eine Wegänderung erfolgt mit Hilfe eines mechanischen Verformungskörpers. Die mechanische Spannung oder die Wegänderung wird durch resistive (ohmsche), kapazitive oder induktive Sensorelemente gemessen. Zur Auswertung der Parameteränderung $\Delta R$, $\Delta C$, $\Delta L$ dieser Bauelemente dient die Primärelektronik, die sowohl die Speisung als auch die Wandlung in ein störsicheres elektrisches Ausgangssignal übernimmt.

Im Bild 1 ist das Funktionsprinzip eines Halbleiterdrucksensors nach dem integrierten piezoresistiven Wirkprinzip dargestellt. In ein Siliziumsubstrat, das gleichzeitig als mechanischer Verformungskörper dient, sind Widerstandsbahnen dotiert. Die mechanische Spannung oder Dehnung führt aufgrund des piezoresistiven Effektes zu einer Widerstandsänderung, die deutlich größer als die bei Metalldehnmeßstreifen durch Gestaltänderungseffekt (vergleichbare mechanische Spannung vorausgesetzt) ist. Die Meßwiderstände sind zu einer Wheatstone-Brücke zusammengeschaltet, deren Ausgangsspannung in der Primärelektronik in ein störsicheres elektrisches Ausgangssignal, z. B. 4 bis 20 mA, umgewandelt wird.

Die Anwendung aktiver Drucksensoren kann man in drei Hauptgruppen einteilen (Tafel 1). In den letzten Jahren ist ein stark steigender Bedarf für alle drei Gruppen international erkennbar, insbesondere jedoch für die Billigdrucksensoren. Dieser steigende Bedarf resultiert aus der weltweiten Notwendigkeit der Energie- und Rohstoffeinsparung und der dazu erforderlichen Zunahme von Meßstellen. Das zunehmende Angebot hochintegrierter, relativ preiswerter mikroelektronischer Schaltkreise, die bereits eine dezentrale Informationsverarbeitung gestatten, fördert diesen Trend.

Seit mehreren Jahrzehnten produziert der VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow in hohen Stückzahlen Druck- und Differenzdruckmeßumformer nach dem Prinzip der Kraftkompensation. Deutlich höhere Gebrauchswerteigenschaften bei gleichzeitiger Materialeinsparung und Steigerung der Produktionsstückzahlen können nur durch ein zukunftsträchtigeres Wirkprinzip erreicht werden. Es erfolgte daher die Entwicklung einer neuen Generation von Meßumformern (1. und 2. Gruppe in Tafel 1) auf der Basis des integrierten piezoresistiven Wirkprinzips. Diese Druckmeßgeräte zeichnen sich durch eine deutliche Gebrauchswertsteigerung und Verbesserung der technischen Parameter aus. Die Entwicklung erfolgte in enger Kooperation mit dem VEB Kombinat Mikroelektronik, der Technischen Universität Dresden und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen.

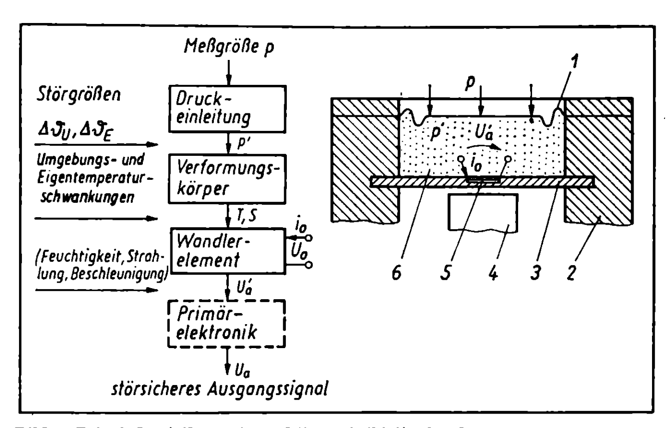



**Bild 1. Prinzipdarstellung eines aktiven Halbleiterdrucksensors**

1 Trennmembran, 2 Gehäuse, 3 Verformungskörper aus Silizium, 4 Überlastungsschutz, 5 integrierter Widerstand, 6 Druckübertragungsmedium

## 1. Überblick über verschiedene Wirkprinzipien für aktive Drucksensoren

Bild 2 zeigt einen Überblick über die verschiedenen Wirkprinzipien. Kapazitive und resistive Drucksensoren nehmen gegenwärtig international eine Vorrangstellung ein. Induktive Drucksensoren und die Drucksensoren auf Basis der Kraft- oder Wegkompensation werden zunehmend durch diese Wirkprinzipien verdrängt. Eine Sonderstellung nehmen optische Drucksensoren und Sensoren mit schwingender Saite ein. Optische Drucksensoren wurden bisher nur in der Labormeßtechnik eingesetzt. Wegen seiner Vorrangstellung ist das resistive Wirkprinzip im Bild 2 in Untergruppen aufgeschlüsselt. Auf die Funktionsweise der einzelnen Wirkprinzipien wird hier nicht eingegangen. Zur Vertiefung wird auf die Zusammenstellung in [5] verwiesen.

Die internationalen Entwicklungsarbeiten zur Sensortechnik sind insbesondere durch die Anwendung moderner Halbleitertechnologien gekennzeichnet. Auf dem Gebiet der Drucksensortechnik wurden folgende Wirkprinzipien der industriellen Nutzung zugeführt:

- integrierte piezoresistive Widerstandsbrückenstrukturen auf monokristallinen Siliziumverformungskörpern
- abgeschiedene Metalldünnfilmstrukturen auf isolierten Metallverformungskörpern
- metallische Dickfilmstrukturen auf Keramikverformungskörpern
- weiterentwickelte Metallfoliendehnmeßstreifen auf Metallverformungskörpern
- kapazitive Drucksensoren mit Metall- und Siliziumverformungskörpern.

Aufbauend auf die Grundlagenarbeiten [6] und [7] wurde Anfang der 70er Jahre an der TU Dresden nachgewiesen [8], daß das integrierte piezoresistive Wirkprinzip unter Berücksichtigung der spezifischen Besonderheiten der Volkswirtschaft der DDR und der vorhandenen Erfahrungen der Meßgerätehersteller als zukunftsträchtiges Wirkprinzip für Drucksensoren anzusehen ist. In der zweiten Hälfte der 70er Jahre wurden an der TU Dresden die Entwurfsgrundlagen für integrierte piezoresistive Drucksensoren erarbeitet und an praktischen Ausführungsbeispielen in Form von medizinischen Drucksensoren erprobt [9].

Durch den VEB GRW Teltow wurden Ende der 70er Jahre diese Arbeiten aufgegriffen und man begann mit intensiven Entwicklungsarbeiten mit dem Ziel der Produktionsaufnahme integrierter piezoresistiver Drucksensoren für die Automatisierungstech-

Dr.-Ing. *Frank Löffler* (39) studierte von 1966 bis 1970 an der Fakultät Elektrotechnik der TU Dresden in der Fachrichtung Fernmeldetechnik. Anschließend Forschungsstudium an der TU Dresden, Sektion Informationstechnik, Bereich Kommunikation und Meßwerterfassung. 1974 Promotion A. Von 1974 bis 1976 wissenschaftlicher Assistent am gleichen Bereich. Ab 1977 Entwicklungsingenieur im VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow, Bereich Forschung und Entwicklung. Seit 1979 Gruppenleiter Forschung und Entwicklung.

Dr. sc. techn. *Roland Werthschützky* (36) studierte von 1968 bis 1972 an der Fakultät Elektrotechnik der TU Dresden Regelungstechnik. Von 1972 bis 1975 Forschungsstudium an der Sektion Informationstechnik der TU Dresden in der Fachrichtung Elektromechanische Meßtechnik. 1976 Promotion A. Von 1976 bis 1981 wissenschaftlicher Assistent bzw. Oberassistent an der gleichen Sektion. Ab 1981 Tätigkeit im VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow im Bereich Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Drucksensorenentwicklung. Von 1981 bis 1984 Gruppenleiter. Seitdem Abteilungsleiter der Drucksensorenentwicklung.

Tafel 1. Einteilung der Drucksensoren nach Anwendungsbereichen

| Typ | Meßumformer | Präzisionsdruckwandler | Billigdruckwandler |
|---|---|---|---|
| Einsatzgebiet | Automatisierungstechnik | industrielle Meßtechnik | Kfz-Technik und Haushaltgeräte |
| Druckspezifikation | Absolut-, Über-, Differenzdruck, Haupteinsatz: Differenzdruckmessung zur Durchflußmessung mit Wirkblende | Absolut-, Über-, Differenzdruck | Über-, Absolutdruck |
| Stückzahlen/ Jahr [1]) | 10000 ... 100000 | 50000 ... 250000 | > 10⁶ |
| Druckbereich | 100 Pa ... 60 MPa | 10 kPa ... 60 MPa | 50 kPa ... 2 MPa |
| Kompensierter Temperaturbereich | −40 °C ... +80 °C | −20 °C ... +60 °C | −10 °C ... +60 °C |
| Preis [1]) | Druck: 1500,— ... 2000,— VM<br>Differenzdruck: 2000,— ... 3000,— VM | ohne Auswerteelektronik:<br>500,— ... 1000,— VM<br>mit Auswerteelektronik:<br>1000,— ... 1500,— VM (4 bis 20 mA) | 10,— ... 100,— VM |
| Fehlergrenze | ± 0,25% ... ± 1% | ± 0,25% ... ± 1,6% | ± 2,5% ... ± 5% |
| Besonderheiten | — Nullpunktunterdrückung bis zu 90% des Meßbereiches<br>— Meßbereichspreizung 4:1 bis 10:1<br>— Standardausgangssignal 4 bis 20 mA<br>— überlastsicher für Differenzdruckmessungen<br>— einsetzbar für aggressive Medien<br>— Masse: Überdruck-MU 2 ... 3 kg, Differenzdruck-MU 3 ... 5 kg | — *stark reduzierte* Abmessungen<br>— Nullpunkt- und Übertragungsfaktoreinstellung nur in kleinen Grenzen (± 10%)<br>— mit und ohne Primärelektronik, d. h. mit und ohne Standardausgangssignal 4 bis 20 mA<br>— Masse: ohne Elektronik 0,1 kg, mit Elektronik 0,2 kg | — Fertigung von anwenderorientierten Großserien für spezifische Einsatzfälle<br>— Masse: 0,01 bis 0,1 kg |

[1]) typische Daten internationaler Hersteller

nik. Hauptgründe für die Entscheidung für dieses Wirkprinzip waren:

- vorhandene Vorlaufforschung an der TU Dresden
- vorhandener territorialer Kooperationspartner VEB Mikroelektronik Stahnsdorf (MLS)
- mögliche Ausbaufähigkeit dieses Wirkprinzips hinsichtlich der Messung anderer nichtelektrischer Größen, mehrerer nichtelektrischer Größen gleichzeitig und Integration von Teilen der Primärelektronik auf dem Siliziumchip.

1984 konnte mit der Produktion einer Typenreihe für Meßumformer (MU) und Präzisionsdruckwandler begonnen werden.
Die internationale Entwicklung der Drucksensortechnik bestätigt die Richtigkeit des eingeschlagenen Entwicklungsweges. Das integrierte piezoresistive Wirkprinzip wird gegenwärtig vorrangig bei Billigdruckwandlern angewendet. Aber auch bei den Meßumformern und Präzisionsdruckwandlern ist in den letzten Jahren ein deutlich steigender Anteil an integrierten piezoresistiven Sensoren nachweisbar [5].

In den folgenden Abschnitten werden der integrierte piezoresistive Drucksensor des VEB GRW Teltow und dessen Einsatz im Meßumformer und Präzisionsdruckwandler erläutert.

## 2. Integrierter piezoresistiver Drucksensor

### *2.1. Elektromechanischer Entwurf* [9]

Die Grundgleichungen für den elektromechanischen Entwurf sind in den Tafeln 2 bis 4 zusammengefaßt.
In der Tafel 2 wird die phänomenologische Beschreibung des piezoresistiven Effekts von Planarwiderständen durch Längs- und Quer-$\pi$-Koeffizienten dargestellt. Dieser Effekt übertrifft deutlich den von Metalldehnmeßstreifen bekannten Gestaltänderungseffekt. Aufgrund der Ortsabhängigkeit des angenommenen ebenen Spannungsfeldes ist zur Berechnung der mittleren Widerstandsänderung $\bar{r}$ die Integration über die Koordinate $x_1$ erforderlich.
Wegen der Anisotropie des Siliziumkristalls sind die $\pi$-Koeffizienten stark richtungsabhängig (Tafel 3). Am weitesten verbrei-

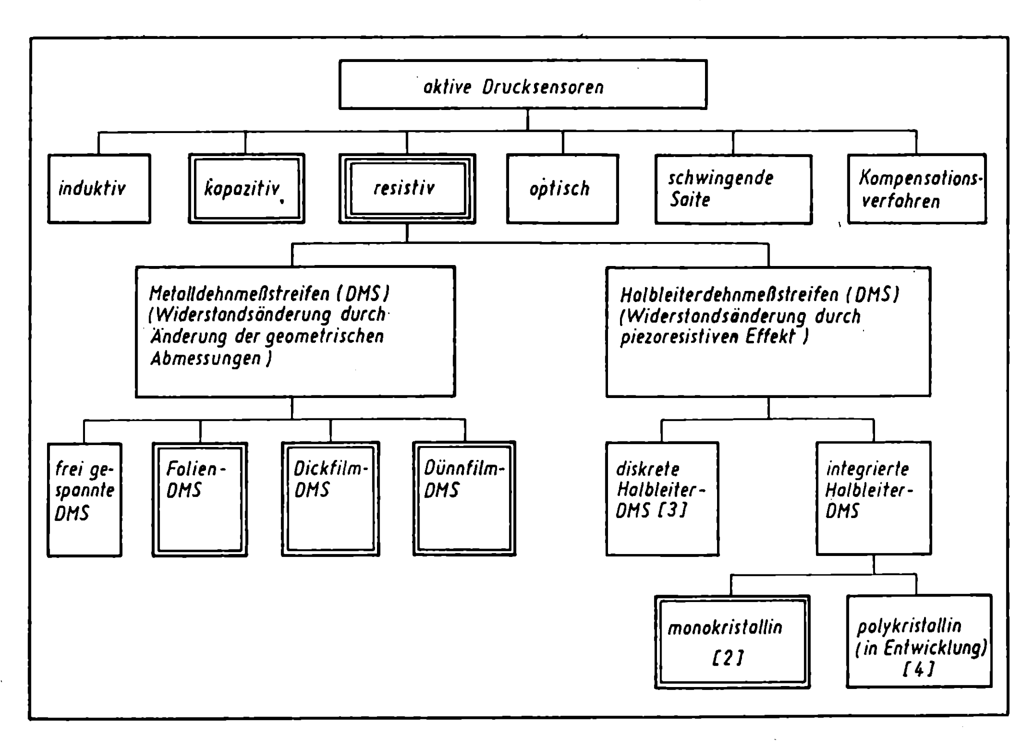
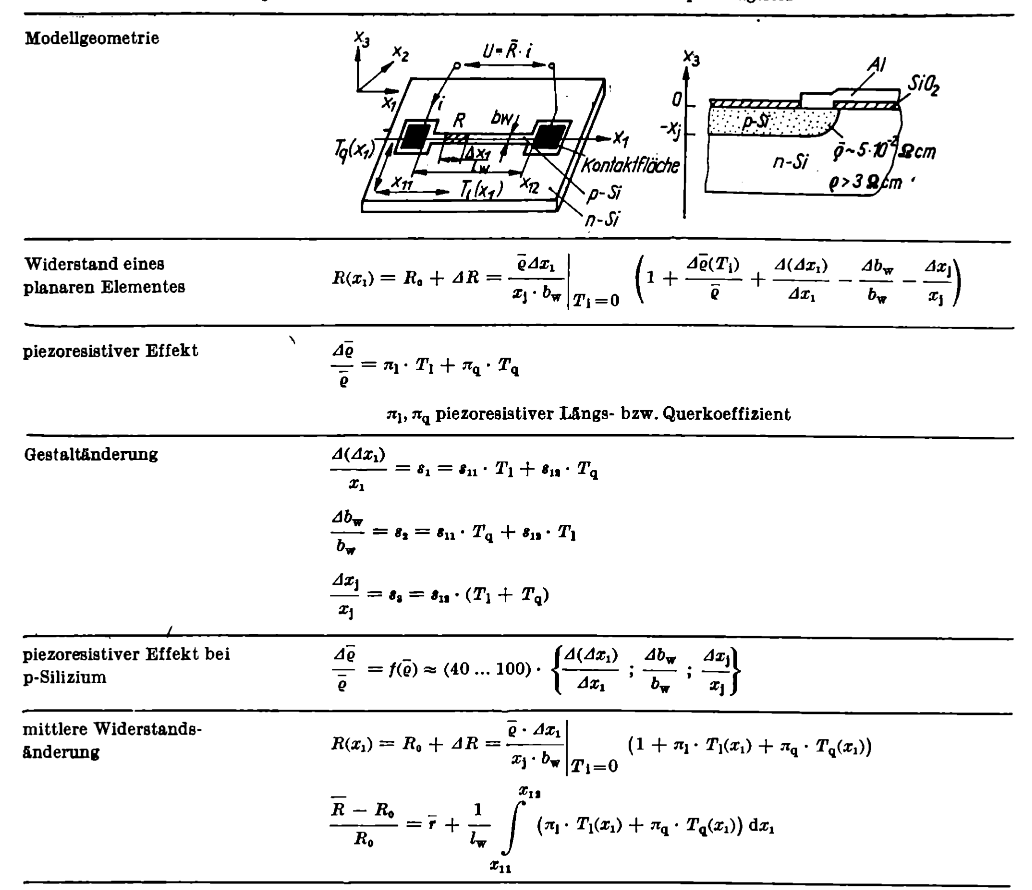



Bild 2. Einteilung der aktiven Drucksensoren

**Tafel 2. Modellannahme des piezoresistiven Planarwiderstandes für ein ebenes Spannungsfeld**




| | |
|---|---|
| Modellgeometrie | |
| Widerstand eines planaren Elementes | $R(x_1) = R_0 + \Delta R = \frac{\bar{\varrho}\,\Delta x_1}{x_j \cdot b_w}\Big\vert_{T_l=0} \left(1 + \frac{\Delta\bar{\varrho}(T_l)}{\bar{\varrho}} + \frac{\Delta(\Delta x_1)}{\Delta x_1} - \frac{\Delta b_w}{b_w} - \frac{\Delta x_j}{x_j}\right)$ |
| piezoresistiver Effekt | $\frac{\Delta\bar{\varrho}}{\bar{\varrho}} = \pi_l \cdot T_l + \pi_q \cdot T_q$ <br> $\pi_l$, $\pi_q$ piezoresistiver Längs- bzw. Querkoeffizient |
| Gestaltänderung | $\frac{\Delta(\Delta x_1)}{x_1} = s_1 = s_{11} \cdot T_l + s_{12} \cdot T_q$ <br> $\frac{\Delta b_w}{b_w} = s_2 = s_{11} \cdot T_q + s_{12} \cdot T_l$ <br> $\frac{\Delta x_j}{x_j} = s_3 = s_{12} \cdot (T_l + T_q)$ |
| piezoresistiver Effekt bei p-Silizium | $\frac{\Delta\bar{\varrho}}{\bar{\varrho}} = f(\bar{\varrho}) \approx (40 \ldots 100) \cdot \left\{\frac{\Delta(\Delta x_1)}{\Delta x_1} ; \frac{\Delta b_w}{b_w} ; \frac{\Delta x_j}{x_j}\right\}$ |
| mittlere Widerstandsänderung | $R(x_1) = R_0 + \Delta R = \frac{\bar{\varrho} \cdot \Delta x_1}{x_j \cdot b_w}\Big\vert_{T_l=0} (1 + \pi_l \cdot T_l(x_1) + \pi_q \cdot T_q(x_1))$ <br> $\frac{\bar{R} - R_0}{R_0} = \bar{r} + \frac{1}{l_w} \int_{x_{11}}^{x_{12}} (\pi_l \cdot T_l(x_1) + \pi_q \cdot T_q(x_1))\, dx_1$ |

tet sind Widerstandsanordnungen in der (100)- oder (111)-Siliziumkristallebene. Die (111)-Ebene hat den Vorteil der Isotropie der piezoresistiven und elastischen Eigenschaften sowie des günstigen Bruchverhaltens.

Am weitesten verbreitet sind Siliziumverformungskörper in Form von Kreis-, Rechteck- und Quadratplatten. Bei Drucksensoren mit hoher Genauigkeit dominiert die Kreisplatte. Für Miniaturdrucksensoren, z. B. implantierbare medizinische Sensoren, werden vorrangig Rechteckplatten verwendet.

Für den hier beschriebenen Drucksensor wurde als Verformungskörper die Kreisplatte gewählt. Auf der Siliziumkreisplatte sind die Meßwiderstände in zwei Varianten angeordnet. In Tafel 3 sind in einer groben Näherungsstufe die Entwurfsgleichungen für die zwei Varianten angegeben.

Die integrierten Widerstände werden zu strom- oder spannungsgespeisten Wheatstone-Brücken verschaltet. Die Berechnungsvorschriften für die Brückenausgangsspannungen für paarweise gleichgroße Widerstandsänderungen sind in Tafel 4 zusammengefaßt.

Bisher wurde die Temperaturabhängigkeit der relativen Widerstandsänderung vernachlässigt. Temperaturschwankungen $\Delta\vartheta$ um den Referenzpunkt $\vartheta_0$ stellen die Hauptumweltstörgröße für Halbleiterdrucksensoren dar. Der Einfluß von $\Delta\vartheta$ wird in 1. Näherung durch die Temperaturkoeffizienten des Widerstandes $\alpha_R$ und des piezoresistiven Koeffizienten $\alpha_\pi$ berücksichtigt. Diese Koeffizienten bilden die Ursache für den Temperaturkoeffizienten des Nullpunktes $\alpha_N$ und des Übertragungsfaktors $\alpha_B$ der Brückenausgangsspannung (Tafel 4).

Eine weitere Fehlerquelle bilden die Linearitätsfehler der $\pi$-Koeffizienten $F_\pi$ und der mechanischen Spannung $F_T$. Sie sind die Ursache für den Linearitätsfehler der Brückenausgangsspannung (Tafel 4).

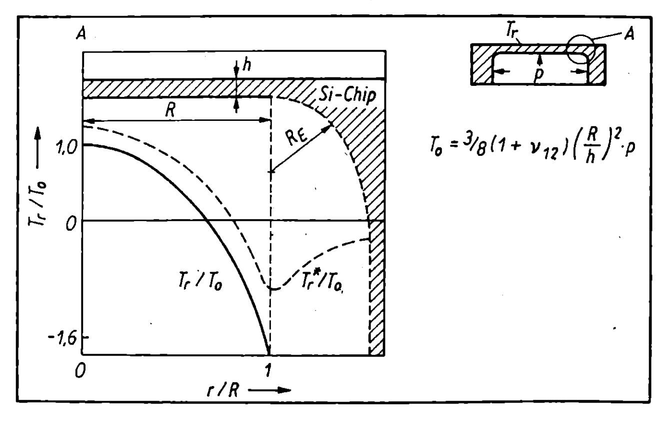
Für die mechanischen Spannungen der Kreisplatte ist im realen Fall im Gegensatz zur idealen Einspannung der Einspannradius $R_E$ der Kreisplatte zu berücksichtigen. Hierfür ist die Spannungsberechnung nach der Theorie der finiten Elemente durchzuführen [10]. Im Bild 3 ist ein qualitativer Vergleich beider Spannungsverläufe angegeben. Die Widerstandsstrukturen der Varianten A und B (Tafel 3) liegen im Maximum des realen Spannungsverlaufs.

Die Störanteile der Ausgangsspannung $U_a$ werden durch Umweltstörungen ($\Delta\vartheta$) und Eigenstörungen des Sensors verursacht. Die wesentlichen Eigenstörungen sind der Linearitätsfehler $F_{Lin}$, die Temperaturkoeffizienten $\alpha_N$ und $\alpha_B$ sowie zufällige, zeit-, temperatur- und druckabhängige Schwankungen des Ausgangssignals $\Delta\widetilde{U}_a(t)$, $\Delta\widetilde{U}_a(p)$, $\Delta\widetilde{U}_a(\vartheta)$, insbesondere des Nullpunktes (Bild 4).

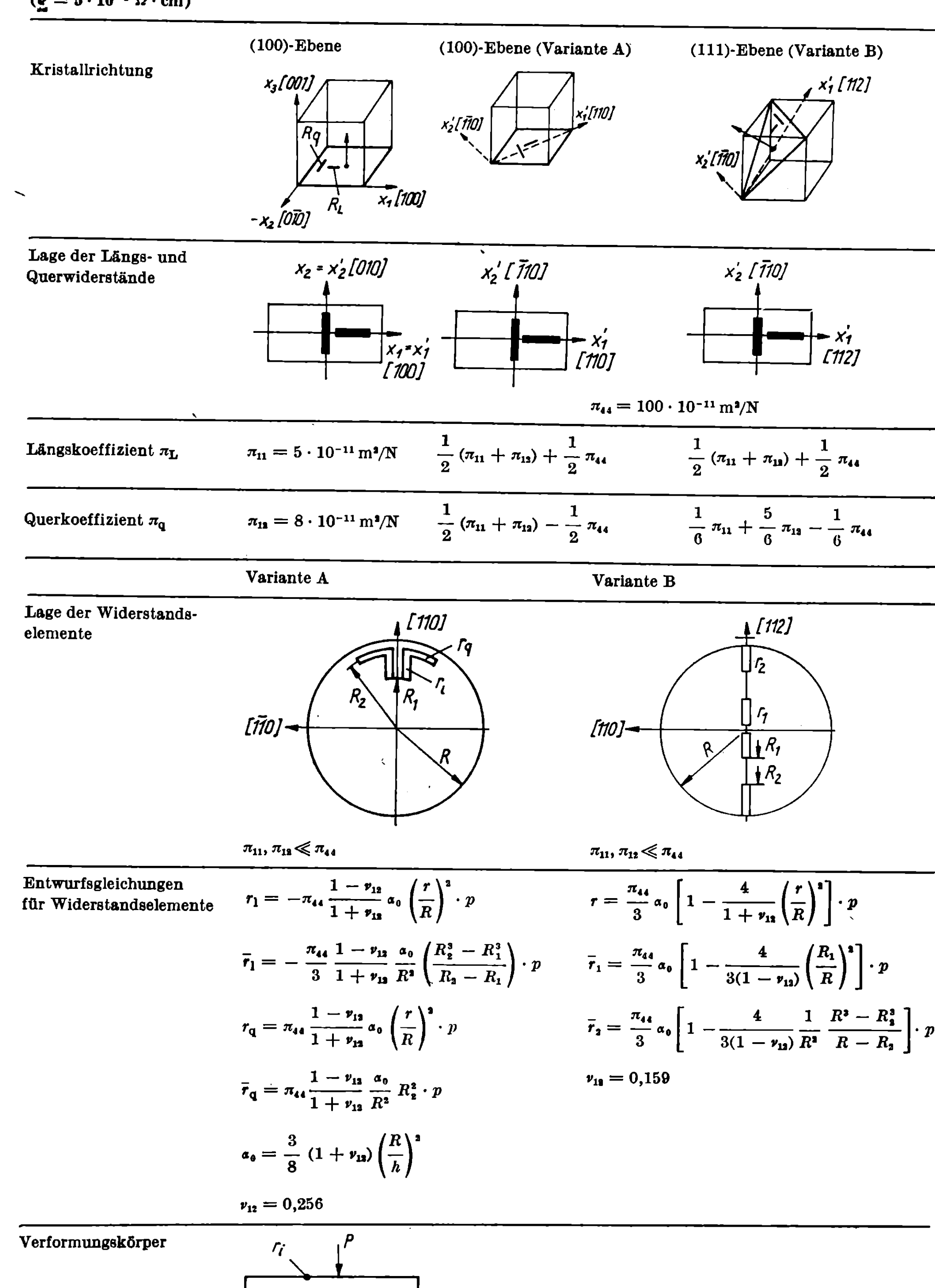
Die systematischen Fehler $F_{Lin}$, $\alpha_N$, $\alpha_B$ sind grundsätzlich durch geeignete Kompensationsverfahren korrigierbar. Damit wird die Qualität der Drucksensoren vor allem durch die nicht kompensierbaren zufälligen Fehler bestimmt. Mit abnehmendem Meßbereich nehmen die absoluten und reduzierten zufälligen Fehler betragsmäßig zu. Die Hauptursache für die zufälligen Fehler bilden die gegenüber Silizium abweichenden mechanischen und thermischen Eigenschaften der Oberflächenschichten des Siliziumverformungskörpers, z. B. Siliziumoxide. Dadurch werden Verspannungen der Siliziumkreisplatte hervorgerufen, die sich zeit- und temperaturabhängig ändern und dadurch Drifterscheinungen des Ausgangssignals bewirken. Verringert man die Dicke dieser Passivierungsschichten, dann muß man mit zunehmenden Ladungswechselwirkungen, ähnlich wie bei MOS-Strukturen, rechnen. Außerdem muß in den kleinen Meßbereichen (< 100 kPa) das Ausgangssignal zur Sicherung des Linearitätsfehlers verringert werden. Damit erfolgt in diesen Meßbereichen durch die zunehmenden absoluten zufälligen

**Bild 3. Radialspannung $T_r$ auf der Oberseite der real eingespannten Kreisplatte**

$T_r$ nach der klassischen Theorie (ideale Einspannung), $T_r^*$ nach der Methode der finiten Elemente (reale Einspannung)



**Tafel 3.** Zusammenstellung wesentlicher Entwurfsgleichungen für die verwendeten Widerstandsorientierungen ($\varrho = 5 \cdot 10^{-2}\ \Omega \cdot \text{cm}$)




| | | | |
|---|---|---|---|
| | (100)-Ebene | (100)-Ebene (Variante A) | (111)-Ebene (Variante B) |
| Kristallrichtung | | | |
| Lage der Längs- und Querwiderstände | | | |
| | | $\pi_{44} = 100 \cdot 10^{-11}\ \text{m}^2/\text{N}$ | |
| Längskoeffizient $\pi_L$ | $\pi_{11} = 5 \cdot 10^{-11}\ \text{m}^2/\text{N}$ | $\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12}) + \frac{1}{2}\pi_{44}$ | $\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12}) + \frac{1}{2}\pi_{44}$ |
| Querkoeffizient $\pi_q$ | $\pi_{12} = 8 \cdot 10^{-11}\ \text{m}^2/\text{N}$ | $\frac{1}{2}(\pi_{11} + \pi_{12}) - \frac{1}{2}\pi_{44}$ | $\frac{1}{6}\pi_{11} + \frac{5}{6}\pi_{12} - \frac{1}{6}\pi_{44}$ |
| | Variante A | | Variante B |
| Lage der Widerstandselemente | | | |
| | $\pi_{11}, \pi_{12} \ll \pi_{44}$ | | $\pi_{11}, \pi_{12} \ll \pi_{44}$ |
| Entwurfsgleichungen für Widerstandselemente | $r_l = -\pi_{44}\frac{1-\nu_{12}}{1+\nu_{12}}\alpha_0\left(\frac{r}{R}\right)^2 \cdot p$<br>$\bar{r}_l = -\frac{\pi_{44}}{3}\frac{1-\nu_{12}}{1+\nu_{12}}\frac{\alpha_0}{R^2}\left(\frac{R_2^3 - R_1^3}{R_2 - R_1}\right) \cdot p$<br>$r_q = \pi_{44}\frac{1-\nu_{12}}{1+\nu_{12}}\alpha_0\left(\frac{r}{R}\right)^2 \cdot p$<br>$\bar{r}_q = \pi_{44}\frac{1-\nu_{12}}{1+\nu_{12}}\frac{\alpha_0}{R^2}R_2^2 \cdot p$<br>$\alpha_0 = \frac{3}{8}(1+\nu_{12})\left(\frac{R}{h}\right)^2$<br>$\nu_{12} = 0{,}256$ | | $r = \frac{\pi_{44}}{3}\alpha_0\left[1 - \frac{4}{1+\nu_{12}}\left(\frac{r}{R}\right)^2\right] \cdot p$<br>$\bar{r}_1 = \frac{\pi_{44}}{3}\alpha_0\left[1 - \frac{4}{3(1-\nu_{12})}\left(\frac{R_1}{R}\right)^2\right] \cdot p$<br>$\bar{r}_2 = \frac{\pi_{44}}{3}\alpha_0\left[1 - \frac{4}{3(1-\nu_{12})}\frac{1}{R^2}\frac{R^3 - R_2^3}{R - R_2}\right] \cdot p$<br>$\nu_{12} = 0{,}159$ |
| Verformungskörper | | | |

Fehler bei Abnahme des Nennausgangssignals eine starke Vergrößerung des reduzierten Fehlers.

Die aufgeführten Störgrößen kann man in einen äquivalenten Stördruck $p_S$ am Eingang des Sensors umrechnen. Als Entwurfskriterium gilt dann die Beziehung $p_S/p_{max} \rightarrow$ Minimum, die einen möglichst großen Übertragungsfaktor $B_{u,p}$ bei möglichst kleinen Fehlern fordert (Bild 4).

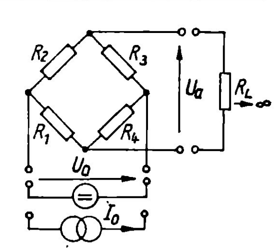
Für das skizzierte Entwurfsverfahren wurden Rechenprogramme entwickelt, die dem Entwurfskriterium genügen. Damit kann man für verschiedene Meßbereiche und Anwenderbedingungen den mechanischen und mechanoelektrischen Entwurf von integrierten piezoresistiven Drucksensoren auf der Basis von Kreisplatten effektiv realisieren.

### 2.2. *Herstellungstechnologie*

Die technologischen Schritte bei der Herstellung der Drucksensorchips im Scheibenverband entsprechen weitestgehend den Standardverfahren der Halbleitertechnologie. Folgende vier Besonderheiten sind jedoch vorhanden:

- extrem hochwertige Oberflächenpassivierung zur Sicherung einer Widerstandsstabilität $\Delta R/R$ von $< 10^{-5}$ für einen Zeitraum bis zu 3 Monaten verbunden mit einem optimalen Dotierungsregime
- Realisierung eines optimalen lateralen und vertikalen Schichtaufbaus zur Sicherung minimaler mechanischer und elektrischer Wechselwirkungen mit den Meßwiderständen

**Tafel 4. Zusammenstellung der Grundgleichungen für die Brückenausgangsspannung**

| | |
|---|---|
| Brückenschaltung |   $R_l = R_{0l}(1 + \bar{r}_l)$<br>$\bar{r}_1(\vartheta_0) = \bar{r}_3(\vartheta_0); \quad \bar{r}_2(\vartheta_0) = \bar{r}_4(\vartheta_0)$<br>$U_{a0}^{(u)} = \frac{R_{02} \cdot R_{04} - R_{01} \cdot R_{03}}{(R_{01} + R_{03})(R_{02} + R_{04})} U_0$<br>$U_{a0}^{(i)} = \frac{R_{02} \cdot R_{04} - R_{01} \cdot R_{03}}{R_{01} + R_{02} + R_{03} + R_{04}} I_0$ |
| Brückenausgangsspannung (lineare Näherung) $\vartheta = \vartheta_0$ | *Spannungseinspeisung:*<br>$U_a^{(u)} = \frac{1}{2}(\bar{r}_1 - \bar{r}_2) \cdot U_0 + U_{a0}^{(u)} = B_{u,p}^{(u)} \cdot p + U_{a0}^{(u)}$<br>*Stromeinspeisung:*<br>$U_a^{(i)} = \frac{1}{2}(\bar{r}_1 - \bar{r}_2) \cdot R_0 \cdot I_0 + U_{a0}^{(i)} = B_{u,p}^{(i)} \cdot p + U_{a0}^{(i)}$ |
| Einfluß von Umgebungstemperaturschwankungen $\vartheta = \vartheta_0 + \Delta\vartheta$ | $r = \frac{R - R_0}{R_0} = (\pi_l \cdot T_l + \pi_q \cdot T_q)(1 + \alpha_\pi \Delta\vartheta) + \alpha_R \Delta\vartheta$<br>$U_a = B_{u,p}(\vartheta_0) \cdot p \cdot \left[1 + \left(\alpha_B + \frac{p_{max}}{p} \alpha_N\right) \Delta\vartheta\right] + U_{a0}(\vartheta_0)$<br>$\alpha_B^{(u)} = \alpha_\pi \qquad \alpha_N^{(u)} = \frac{1}{4} \frac{U_0}{U_{a\,max}} (\alpha_{R_2} + \alpha_{R_4} - \alpha_{R_1} - \alpha_{R_3})$<br>$\alpha_B^{(i)} = \alpha_\pi + \alpha_R \qquad \alpha_N^{(i)} = \frac{1}{4} \frac{I_0 \cdot R_0}{U_{a\,max}} (\alpha_{R_2} + \alpha_{R_4} - \alpha_{R_1} - \alpha_{R_3}) + \frac{\bar{\alpha}_{Ri} U_{a0}^{(i)}}{U \cdot U_{a\,max}}$<br>$\alpha_0 = \alpha_N \frac{U_{a\,max}}{U_0}$ |
| Einfluß der Nichtlinearität der $\pi$-Faktoren und der mechanischen Spannung $(\vartheta = \vartheta_0)$ | $r = \frac{R - R_0}{R_0} = \pi_l(1 + F_{\pi_l})\, T_l(1 + F_{T_l}) + \pi_q(1 + F_{\pi_q})\, T_q(1 + F_{T_q})$<br>$U_a = B_{u,p}(\vartheta_0)(1 + F_{Lin}) \cdot p + U_{a0}(\vartheta_0)$<br>$F_{Lin} = f(F_{\pi_l}, F_{\pi_q}, F_{T_l}, F_{T_q})$<br>$F_{\pi_{l,q}} = f(\varrho), \quad F_{T_{l,q}} = f(r/R, h, p)$ |

– Abdünnen der druckempfindlichen Siliziumplatte mit Abträgen im Bereich von 200 µm bis 2 mm
– spannungsarme Verbindungstechnik des Halbleiterchips mit einem geeigneten Substratmaterial.

Für diese vier Aufgabenstellungen wurden und werden durch die Hersteller spezielle Verfahren und Technologien entwickelt, die patentrechtlich geschützt sind und das eigentliche „know how" der Halbleiterdrucksensorproduktion darstellen.
Im Bild 5 sind die wesentlichen Prozeßschritte des Zyklus 1 und 2 bei der Herstellung des Drucksensors dargestellt. Bild 6 zeigt die Draufsicht auf einen vereinzelten Drucksensorchip der Variante A und Bild 7 den kompletten Drucksensor.

## Literatur


[1] *Hencke, H.:* Piezoresistiver Druckaufnehmer. Elektronik 30 (1981) 8, S. 59–60.
[2] *Lenk, A.:* Elektromechanische Systeme. Band 3. Berlin: VEB Verlag Technik 1975.
[3] *Erler, W.; Walther, L.:* Elektrisches Messen nichtelektrischer Größen mit Halbleiterwiderständen. Berlin: VEB Verlag Technik 1971.
[4] *Obermeier, E.; von Kienlin, F.:* Drucksensoren für hohe Betriebstemperaturen. industrie-elektrik (1985) 7, S. 50–52.
[5] *Strohrmann, G.:* atp-Marktanalyse Meßumformer für Druck und Druckdifferenz. atp 27 (1985) 1 bis 3.
[6] *Tufte, O. N.; Chapman, P. W.; Lang, D.:* Silicon diffused-element piezoresistive diaphragms. Journal of Appl. Phys. 33 (1962), p. 3322.
[7] *Tufte, O. N.; Stelzer, E. L.:* Piezoresistive properties of silicon diffused layers. Journal of Appl. Phys. 34 (1963), p. 313–318.

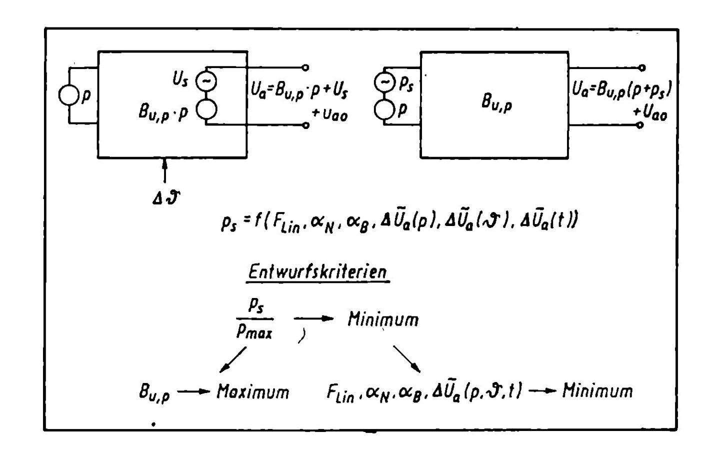
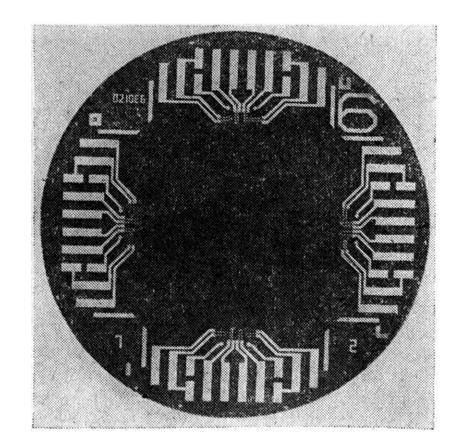
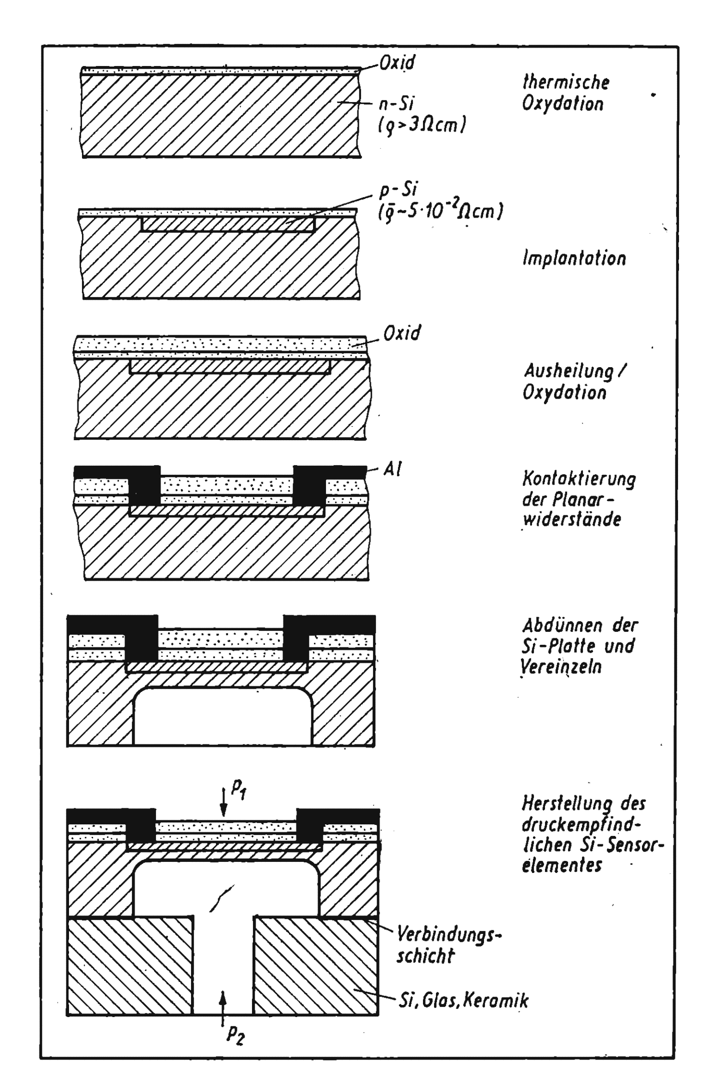




**Bild 4. Gütekriterium für den Entwurf**
systematische Fehler:
$F_{Lin}, \alpha_N, \alpha_B$
zufällige Fehler:
$\Delta\tilde{U}_a(p), \Delta\tilde{U}_a(\vartheta), \Delta\tilde{U}_a(t)$



▶ **Bild 6. Drucksensorchip (Draufsicht)**



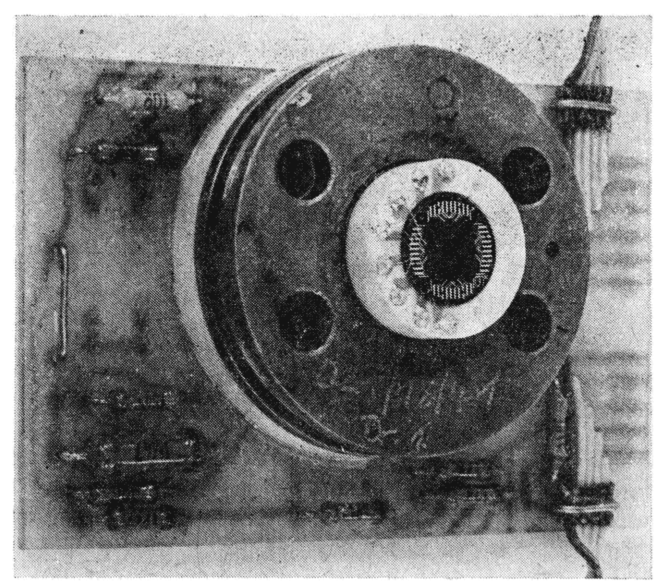



**Bild 7. Kompletter Drucksensor**

**Bild 5. Wesentliche Prozeßschritte im Zyklus 1 und 2 zur Herstellung des druckempfindlichen Sensorelements**


[8] *Irrgang, B.:* Diskrete und integrierte mechanoelektrische Halbleiterwandler. Dissertation B, TU Dresden 1972.

[9] *Werthschützky, R.:* Entwurf und Realisierung integrierter piezoresistiver Druckwandler. Dissertation B, TU Dresden 1982.

[10] *Zienkiewiez, O. C.:* Methode der Finiten Elemente. München: Carl Hanser Verlag 1975.

[11] *Gutnikow, V. S.; Lenk, A.; Mende, U.:* Sensorelektronik. Berlin: VEB Verlag Technik 1984.

[12] *Chemnitz, G.; Seeger, U.:* Silizium-Halbleiter-Meßumformer für leistungsfähige Automatisierungsanlagen. Wissenschaftlich-technische Information des KAAB (1983) 2, S. 75–78.

[13] *Chemnitz, G.; Werthschützky, R.:* Präzisionshalbleiterdruckwandler zur Absolutdruckmessung. Wissenschaftlich-technische Information des VEB KAAB (1984) 1.

[14] *Pollner, J.:* Geräte zur Druckmessung in der industriellen Prozeßmeßtechnik auf der Basis von Silizium-Halbleitersensoren – audapas-Meßumformer und audapas-Druckwandler. Vortrag zur Leipziger Frühjahrsmesse 1986.


msr 8574 (wird fortgesetzt)

*U. Jumar; H. Krüger*

# Untersuchungen zur Regelungsstruktur eines Industrieofens

## 0. Einleitung

In diesem Beitrag soll die Regelung von mehrsträngigen Röhrenöfen betrachtet werden, wie sie beispielsweise bei der Erdölverarbeitung zur Aufheizung des Rohöls vor dem Eintritt in die Destillationskolonne zum Einsatz kommen. Bild 1 zeigt ein stark vereinfachtes technologisches Schema eines solchen typischen Industrieofens. Das flüssige oder gasförmige, in Rohren geführte Produkt wird in zwei Hauptsträngen, die sich ggf. tntern noch weiter aufteilen, durch den gasbeheizten Ofen geleitet. Gas- und Luftmenge für die Versorgung der zwangsbelüfteten Brenner sind über Regelventile stellbar. Die Verbrennungsabgase entweichen über den mit einer Drosselklappe und einer $O_2$-Meßsonde versehenen Rauchgaskanal.

Das primäre Regelungsziel ist i. allg. die Konstanz einer vorgegebenen Produkttemperatur am Ofenaustritt. Gleichzeitig soll eine Asymmetrie der Erwärmung der beiden Hauptstränge vermieden werden, woraus die Forderung nach Kompensation von Temperaturdifferenzen zwischen Strang 1 und 2 erwächst. Für einen störungsfreien Betrieb der dem Röhrenofen nachgeschalteten Prozeßstufen darf der Gesamtproduktdurchsatz durch die Temperaturregelung nicht beeinflußt werden.

Entscheidend für die effektive Brennstoffausnutzung sowie für eine verminderte Umweltbelastung durch die Abgase der Verbrennung ist das Brennstoff-Luft-Mengenverhältnis. Als in dieser Hinsicht für den Verbrennungsprozeß relevante Regelgröße dient die $O_2$-Konzentration im Rauchgas. Weiterhin ist zur Reduzierung von Falschlufteinflüssen und damit verbundenen Wärmeverlusten der Feuerraumdruck eine typische Regelgröße.

Unter Beachtung der Art der Führungssignale ist es möglich, das Regelungsproblem der verallgemeinerten Festwertregelung zuzuordnen. Als auszuregelnde Störungen wirken u. a. Durchsatzänderungen der Produktmenge, Schwankungen in der Heizgaszufuhr, z. B. bezüglich des Heizwertes, und partielle Ausfälle im Brennersystem.

Die in der Vergangenheit und auch heute noch anzutreffende Regelungsstruktur ist z. B. dadurch charakterisiert, daß nur eine der Strangtemperaturen mit Hilfe der Heizgasmenge geregelt wird, während man Temperaturdifferenzen durch manuelle Verstellung des Durchsatzes in dem anderen Strang bekämpft. Die Luftmenge kann wegen selbstansaugender Brenner nicht als Stellgröße genutzt werden, und häufig gab es infolge nicht verfügbarer zuverlässiger $O_2$-Meßsonden auch keine Verbrennungsregelung. Die im folgenden beschriebene Untersuchung zielt darauf, eine Regelungsstruktur zu finden, die den aktuellen Forderungen nach effektivem Brennstoffeinsatz, verringerter Umweltbelastung und hoher Güte der Temperaturregelung besser Rechnung zu tragen vermag.

---


Dr.-Ing. *Ulrich Jumar* (27) studierte von 1978 bis 1983 an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik. Anschließend Forschungsstudium und 1986 Promotion A über eine Anwendungsstrategie für robuste Tuning-Mehrgrößenregler. Seit 1985 wissenschaftlicher Assistent im Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen an o. g. Einrichtung.

Dr.-Ing. *Harald Krüger* (51) studierte nach Modelltischlerlehre von 1954 bis 1957 an der Ingenieurschule für Schwermaschinenbau und im Fernstudium von 1961 bis 1967 Regelungstechnik an der TH Magdeburg. Von 1967 bis 1971 wissenschaftlicher Assistent an der gleichen Einrichtung. 1972 Promotion A an der TH Magdeburg. Von 1972 bis 1976 Bereichsleiter Verfahrenstechnik im Institut für Lacke und Farben. Seit 1977 wissenschaftlicher Assistent an der TH Magdeburg.

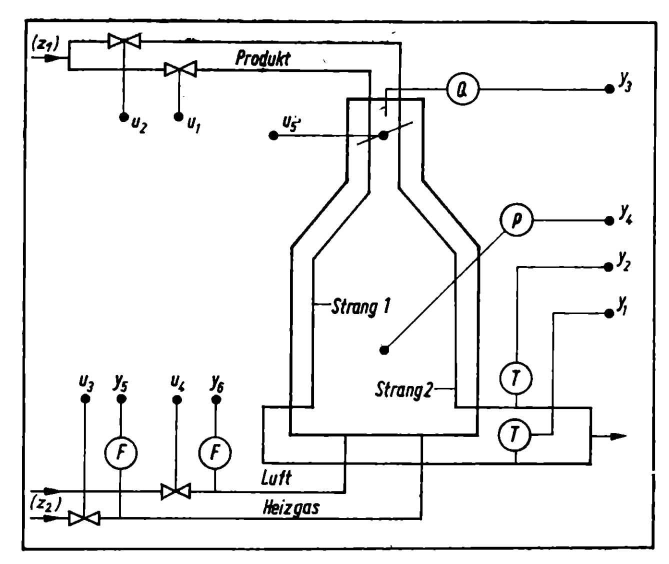



**Bild 1. Vereinfachtes technologisches Schema des Ofens**

$y_1$ Produkttemperatur Strang 1; $y_2$ Produkttemperatur Strang 2; $y_3$ $O_2$-Gehalt im Rauchgas; $y_4$ Feuerraumdruck; $y_5$ Heizgasmenge; $y_6$ Luftmenge; $u_1$ Produktmenge Strang 1; $u_2$ Produktmenge Strang 2; $u_3$ Heizgasmenge; $u_4$ Luftmenge; $u_5$ Stellung der Rauchgasklappe; $z_1$ Durchsatzmenge Produkt; $z_2$ Heizgasmenge (steht für heizgasseitige Störungen)

## 1. Gewählte Untersuchungsmethode

Zur Ermittlung einer Regelungsstruktur für die oben fixierte Aufgabe gilt es zunächst zu klären, welche Meß- und Stellgrößen in das Konzept eingehen sollen und wie diese miteinander zu verknüpfen sind. Während die Antwort zum ersten Teil durch praktische Erfahrung und ein Diktat zur Nutzung vorhandener Meßstellen und Stelleingriffe weitgehend festliegt, sei der zweite Fragenteil nachfolgend als Aufgabe des Strukturentwurfs verstanden. Es wird eine Regelungsstruktur angestrebt, die übersichtlich und transparent ist, einen ingenieurgemäßen Parameterentwurf im Sinne der Bestimmung von Reglerparametern gestattet, gerätetechnisch unkompliziert realisierbar ist und günstige Inbetriebnahmeeigenschaften des Regelungssystems aufweist. Als Grundstruktur der eingesetzten Regler wird auf PI-Regler orientiert, die die typischen Forderungen verallgemeinerter Festwertregelungen erfüllen [1] und [2].

**Tafel 1. Übertragungsfunktionsmodell der Versuchsanlage (Zeitangaben in Sekunden)**

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & 0 \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & 0 \\ 0 & 0 & g_{33} & g_{34} & 0 \\ 0 & 0 & g_{43} & g_{44} & g_{45} \\ 0 & 0 & g_{53} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{64} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_{11z} & g_{12z} \\ g_{21z} & g_{22z} \\ 0 & g_{32z} \\ 0 & g_{42z} \\ 0 & g_{52z} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

$$g_{11} = \frac{0{,}587}{1 + 460p}\,; \quad g_{21} = \frac{-0{,}13}{(1 + 54{,}8p)(1 + 3{,}85p)}\,;$$

$$g_{12} = \frac{-0{,}13}{(1 + 54{,}8p)(1 + 3{,}85p)}\,; \quad g_{22} = \frac{0{,}465}{1 + 460p}\,;$$

$$g_{13} = \frac{1{,}424}{1 + 500p}\,; \quad g_{23} = \frac{1{,}372}{1 + 625p}\,;$$

$$g_{33} = \frac{-2{,}19\, e^{-5p}}{(1 + 21{,}4p)(1 + 3{,}85p)(1 + 3{,}8p)}\,; \quad g_{53} = 1{,}582;$$

$$g_{43} = \frac{0{,}527}{(1 + 10p)(1 + 3{,}85p)}\,; \quad g_{14} = \frac{-0{,}127}{1 + 350p}\,;$$

$$g_{34} = \frac{1{,}65\, e^{-5p}}{(1 + 19{,}4p)(1 + 5{,}9p)(1 + 3{,}85p)}\,; \quad g_{64} = 2{,}016;$$

$$g_{24} = \frac{-0{,}127}{1 + 350p}\,; \quad g_{44} = \frac{0{,}23}{(1 + 13p)(1 + 3{,}85p)}\,;$$

$$g_{45} = \frac{0{,}1}{(1 + 29{,}6p)(1 + 3{,}85p)}\,; \quad g_{11z} = \frac{-0{,}687}{1 + 535p};$$

$g_{21z} = g_{11z}$; $g_{12z} = g_{13}$; $g_{22z} = g_{23}$; $g_{32z} = g_{33}$;

$g_{42z} = g_{43}$; $g_{52z} = g_{53}$

Die Vorzeichen von $g_{11}(p)$, $g_{22}(p)$, $g_{12}(p)$ und $g_{21}(p)$ wurden gegenüber Bild 1 umgekehrt, um Hauptstrecken mit positivem Vorzeichen zu erhalten.

Für die Untersuchungen standen den Autoren Meßergebnisse aus einer Versuchsanlage zur Verfügung [3] und [4]. Diese weist konstruktive Ähnlichkeiten zu dem im Bild 1 skizzierten Röhrenofen auf und eignet sich für regelungstechnische Erprobungen im Vorfeld des Industrieeinsatzes. Da in der Versuchsanlage als aufzuheizendes Medium anstelle von Öl Luft verwendet wird, sind größere Abweichungen zum industriellen Vorbild besonders bezüglich des Dynamikverhaltens der Regelstrecke zu erwarten. Interessiert jedoch vorrangig der Struktur- und nicht der Parameterentwurf der Regelung, so sind diese Abweichungen von untergeordneter Bedeutung.

Aus aufgenommenen Sprungantworten wurde durch Grobapproximation rationaler Übertragungsfunktionen das in Tafel 1 wiedergegebene Näherungsmodell gewonnen [5]. Es soll im Abschn. 2. die Grundlage für eine Analyse der Kopplungsstruktur der Strecke bilden. Ein daraus im Abschn. 3. unter Beachtung technologischer Randbedingungen abgeleiteter Vorschlag für eine Regelungsstruktur wird auf seine Tauglichkeit geprüft. Dieser Prüfung sollen ein einfacher Parameterentwurf der Regelung und eine anschließende Simulation des geregelten Modells dienen. Den Abschluß bildet eine Wertung der Simulationsergebnisse in bezug auf die Leistungsfähigkeit der Regelungsstruktur für den industriellen Einsatz.

## 2. Analyse der Streckenkopplungen

Aus der Matrix der Übertragungsfunktionen in Tafel 1 ist ersichtlich, daß es sich um eine relativ stark verkoppelte Mehrgrößenregelstrecke handelt. Die vielfältigen Kopplungen lassen „auf den ersten Blick" keine bestimmte Regel- und Stellgrößenzuordnung besonders zweckmäßig erscheinen. Eine genauere Analyse weist aber darauf hin, daß die Regelstrecke eindeutig in zwei bezüglich der Dynamik stark differierende Teile zerfällt: Während die Wirkung von $u_1$ und $u_2$ auf $y_1$, $y_2$ durch Übertragungsfunktionen mit Zeitkonstanten im 10-Minuten-Bereich beschrieben wird, liegen die Zeitkonstanten der Übertragung zwischen $u_3$, $u_4$ und $y_3$, $y_4$ im 10-Sekunden-Bereich.

Angesichts dieser Tatsache ist ein zentraler Mehrgrößenregler, der alle $u_i$ und $y_j$ miteinander verknüpft, nicht erforderlich. Die als ein Hauptziel der Mehrgrößenregelung angestrebte Entkopplung ist durch das Zerfallen der Strecke in ein langsames Subsystem und ein wesentlich schnelleres näherungsweise bereits ohne Mehrgrößenregler erreicht. Hinzu kommt, daß sich die Dynamikforderungen an die Regelung hinsichtlich einer kleinen Einschwingzeit auf die Größen $y_1$ und $y_2$ konzentieren. Für $y_3$ und $y_4$ steht die Forderung nach asymptotischer Sollwertfolge und Störgrößenkompensation im Vordergrund, wobei lediglich ein ausreichend gedämpftes Verhalten gewährleistet werden soll. Schließlich sprechen auch mögliche, zumindest einer theoretischen Klärung bedürfende Probleme bei der Inbetriebnahme oder beim Ausfall von Meßsignalen (z. B. $O_2$-Messung) indirekt gegen den Einsatz eines zentralen Mehrgrößenreglers.

In Verallgemeinerung dieser Betrachtung scheint es demnach nicht gerechtfertigt, aus einer „verwickelten" Kopplungsstruktur in jedem Fall kritiklos auf die Notwendigkeit eines zentralen Mehrgrößenreglers zu schließen (vgl. [6] oder [7]). Andererseits legt es der Mehrgrößencharakter der Strecke jedoch nahe, die **Prinzipien der Mehrgrößenregelung** zu nutzen, um einen zielgerichteten, systematischen Entwurf der in Frage kommenden Teilregler zu ermöglichen.

## 3. Vorschlag einer Regelungsstruktur

Zuerst seien als technologisch wichtigste Regelgrößen die Strangtemperaturen betrachtet. Als Stellgrößen eignen sich die Heizgasmenge und die Strangmengen, wobei aber der momentane Gesamtdurchsatz beider Stränge erhalten bleiben muß. Dem trägt die im Bild 2 vorgeschlagene Variante mit einer stets gegensinnigen Verstellung der Strangmengen Rechnung. Die direkte Einführung der Temperaturdifferenz als Regelgröße entspricht dem formulierten Regelungsziel. Diese Struktur hat einen weiteren Vorteil: Die neu eingeführte Regelgröße $\tilde{y}_1$ hängt wegen

$$g_{24}(p) = g_{14}(p)\,, \qquad g_{23}(p) \approx g_{13}(p) \qquad (1)$$

im Sinne einer Entkopplung durch „geschickte Strukturwahl" nur noch von $\tilde{u}_1$ ab.

Als Verbrennungsregelung wird eine von der gemessenen Heizgasmenge $y_5$ geführte Luftverhältnisregelung vorgeschlagen (Bild 3). Der Faktor $K$ berücksichtigt das technologisch vorgegebene Luft-Brennstoff-Verhältnis. Mit der als Luftmengenkor-

rektur neu eingeführten Stellgröße $\tilde{u}_3$ und der Meßgröße $\tilde{y}_3$ soll der Hauptverbrennungsregelkreis gebildet werden. Er dient vorrangig der Kompensation von heizgasseitigen Störungen und trägt zur brennstoffsparenden Fahrweise des Ofens bei. Mit $y_6$ und $u_4$ wird, wie im Bild 3 dargestellt, ein unterlagerter Regelkreis für die Luftmenge aufgebaut. Bemerkt sei, daß an der Versuchsanlage durch statisch sinnvolle Auslegung der Meßbereiche für die Heizgas- und Luftmenge der Faktor $K$ bereits in $g_{53}(p)$ enthalten ist. Die Regelung des Feuerraumdruckes bedarf in Anbetracht der einzig möglichen Zuordnung der Stellgröße $u_5$ keiner zusätzlichen Überlegungen.

Nach den vorausgegangenen Bemerkungen kann die Regelstrecke mit den neu definierten Größen $\tilde{u}_i$ und $\tilde{y}_j$ nunmehr durch das Modell in Tafel 2 beschrieben werden. Einen Einblick in die Kopplungsverhältnisse der erhaltenen Strecke gibt die statische Koppelmatrix $\tilde{\boldsymbol{K}}_{ns}$ [8]. Sie entsteht aus der Matrix statischer Übertragungsfaktoren $\tilde{\boldsymbol{K}}_s$ nach Quadrierung der Matrixelemente und Normierung auf das Maximalelement

$$\tilde{\boldsymbol{K}}_{ns} = \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon & 0 & 0 \\ 0{,}21 & 0{,}94 & \varepsilon & 0 \\ 0 & 0{,}47 & 0{,}39 & 0 \\ 0 & 0{,}29 & 0{,}01 & 0{,}01 \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

Die untere Dreiecksgestalt von $\tilde{\boldsymbol{K}}_{ns}$ verdeutlicht die fast ausschließlich einseitigen E/A-Kopplungen. Zusammen mit der in Abschn. 2. analysierten dynamischen Kopplungsstruktur wird damit noch einmal unterstrichen, daß die Regelungsaufgabe sicher ohne gravierenden Verlust an Regelgüte mit mehreren Teilreglern gelöst werden kann. Die Autoren schlagen die im Bild 4 gezeigte Variante mit drei Teilreglern vor, die gemeinsam als dezentraler Mehrgrößenregler interpretierbar sind. Teilregler 1 ist ein Zweigrößenregler, um die hohen Güteforderungen an die Regelung von $\tilde{y}_1$ und $\tilde{y}_2$ unter Beachtung der Streckenkopplungen gut erfüllen zu können. Für den totzeitbehafteten Streckenteil der Verbrennungsregelung kommt ein reiner I-Regler zum Einsatz, der hier für die untergeordneten Dynamikforderungen ausreichend ist und das gewünschte stationär exakte Verhalten gewährleistet.

Vergleichende Simulationsuntersuchungen zeigen sogar, daß diese Mehrgrößenregelstrecke ohne wesentlichen Güteverlust durch vier Eingrößenregelungen beherrscht werden kann.

## 4. Parameterentwurf der Teilregler

Für diesen Schritt bieten sich aus theoretischer Sicht die Methoden des zentralen Entwurfs dezentraler Mehrgrößenregler an [9]. Ein besonders einfaches, wohl aber theoretisch fundiertes und nicht heuristisch orientiertes Entwurfskonzept ist die dezentrale Tuning-Mehrgrößenregelung [10] und [11]. Der sequentielle Entwurf der einzelnen Teilregler stützt sich, ohne von einem vollständigen Streckenmodell auszugehen, allein auf die Statikmatrix $\tilde{\boldsymbol{K}}_s$ der Strecke und eine aus der Matrix der Streckenübergangsfunktionen $\tilde{\boldsymbol{H}}(t)$ abgeleitete Anstiegsmatrix. Ein Satz von während der Entwurfsrechnungen noch nicht festgelegten Tuning-Parametern kann im Verlauf von Experimenten bei der Inbetriebnahme der Regelung an der realen Anlage fixiert werden. Bezüglich der Anwendung ergibt sich ein Entwurfsvorgehen, das durch eine schrittweise Übernahme der für eine zentrale Tuning-Regelung gültigen Strategie gekennzeichnet ist [12].

Dieses Konzept wurde herangezogen, um möglichst unkompliziert eine fertig parametrierte und der (zur Struktureinschätzung benutzten) Simulation zugängliche Regelung zu erhalten. Als Entwurfssequenz ist die natürliche Reihenfolge TR 1, TR 2, TR 3 (TR Teilregler) besonders geeignet, da dann wegen (2) die Rückwirkung neuer Teilregler auf bereits entworfene Teilregelungen gering bleibt.

Anstelle der Beschreibung des Parameterentwurfs sei der Kürze halber nur auf das im Sinne der Regelungsstruktur wichtige Problem der Existenzprüfung hingewiesen [2] [14] und [11]. Notwendig und hinreichend dafür, daß eine in der angegebenen Reihenfolge sequentiell entwerfbare und in jedem Entwurfsschritt stabile dezentrale Regelung gemäß Bild 4 für die Strecke aus Tafel 2 überhaupt existiert, ist, daß alle führenden Hauptminore der Statikmatrix $\tilde{\boldsymbol{K}}_s$ von Null verschieden sind [13] und [14]. Mit der entsprechend der dezentralen Regelung partitionierten Matrix $\tilde{\boldsymbol{K}}_s$

$$\tilde{\boldsymbol{K}}_s = \begin{bmatrix} \tilde{\boldsymbol{K}}_{s11} & \tilde{\boldsymbol{K}}_{s12} & \tilde{\boldsymbol{K}}_{s13} \\ \tilde{\boldsymbol{K}}_{s21} & \tilde{\boldsymbol{K}}_{s22} & \tilde{\boldsymbol{K}}_{s23} \\ \tilde{\boldsymbol{K}}_{s31} & \tilde{\boldsymbol{K}}_{s32} & \tilde{\boldsymbol{K}}_{s33} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cc:c:c} 1{,}312 & -0{,}052 & 0 & 0 \\ 0{,}595 & 1{,}272 & -0{,}063 & 0 \\ \hdashline 0 & -0{,}895 & 0{,}818 & 0 \\ \hdashline 0 & 0{,}707 & 0{,}114 & 0{,}1 \end{array}\right] \qquad (3)$$

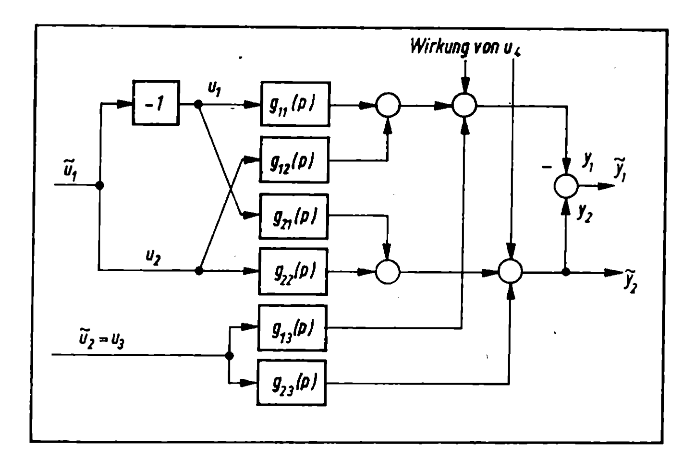



**Bild 2. Modifikation der Strecke für die Temperaturdifferenzregelung**

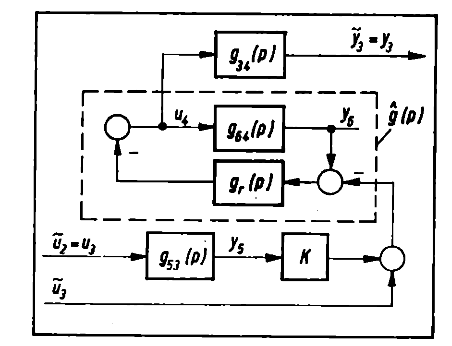



**Bild 3. Modifikation der Strecke für die Verbrennungsregelung**

ist diese Existenzbedingung erfüllt, denn

$$\left.\begin{aligned} &\det(\tilde{\boldsymbol{K}}_{s11}) = \det\begin{pmatrix} 1{,}312 & -0{,}052 \\ 0{,}595 & 1{,}272 \end{pmatrix} = 1{,}70 \neq 0\,, \\ &\det\begin{pmatrix} \tilde{\boldsymbol{K}}_{s11} & \tilde{\boldsymbol{K}}_{s12} \\ \tilde{\boldsymbol{K}}_{s21} & \tilde{\boldsymbol{K}}_{s22} \end{pmatrix} = \det\begin{pmatrix} 1{,}312 & -0{,}052 & 0 \\ 0{,}595 & 1{,}272 & -0{,}063 \\ 0 & -0{,}895 & 0{,}818 \end{pmatrix} = \\ &\qquad = 1{,}316 \neq 0 \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

**Tafel 2. Für den Entwurf der Regelung modifiziertes Streckenmodell mit Statikmatrix $\tilde{\boldsymbol{K}}_s$**

$$\begin{bmatrix} \tilde{y}_1 \\ \tilde{y}_2 \\ \tilde{y}_3 \\ \tilde{y}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{g}_{11} & \tilde{g}_{12} & 0 & 0 \\ \tilde{g}_{21} & \tilde{g}_{22} & \tilde{g}_{23} & 0 \\ 0 & \tilde{g}_{32} & \tilde{g}_{33} & 0 \\ 0 & \tilde{g}_{42} & \tilde{g}_{43} & \tilde{g}_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{u}_1 \\ \tilde{u}_2 \\ \tilde{u}_3 \\ \tilde{u}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \tilde{g}_{z12} \\ \tilde{g}_{z21} & \tilde{g}_{z22} \\ 0 & \tilde{g}_{z32} \\ 0 & \tilde{g}_{z42} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{y}_1 \\ \tilde{y}_2 \\ \tilde{y}_3 \\ \tilde{y}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Differenz der Produkttemperaturen von Strang 1 und Strang 2} \\ \text{Produkttemperatur Strang 2} \\ O_2\text{-Gehalt im Rauchgas} \\ \text{Feuerraumdruck} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{u}_1 \\ \tilde{u}_2 \\ \tilde{u}_3 \\ \tilde{u}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Produktmenge Strang 2 } (-u_1 \text{ für Strang 1}) \\ \text{Heizgasmenge} \\ \text{Luftmengenkorrektur} \\ \text{Stellung der Rauchgasklappe} \end{bmatrix}$$

$\tilde{g}_{11} = g_{11} + g_{22} - g_{12} - g_{21}$ $\qquad$ $\tilde{g}_{12} = g_{23} - g_{13}$

$\tilde{g}_{21} = g_{22} - g_{21}$ $\qquad$ $\tilde{g}_{22} = g_{23} + g_{24}\,\hat{g}\,g_{53}$

$\tilde{g}_{23} = g_{24}\,\hat{g}$ $\qquad$ $\tilde{g}_{32} = g_{33} + g_{34}\,\hat{g}\,g_{53}$

$\tilde{g}_{33} = g_{34}\,\hat{g}$ $\qquad$ $\tilde{g}_{42} = g_{43} + g_{44}\,\hat{g}\,g_{53}$

$\tilde{g}_{43} = g_{44}\,\hat{g}$ $\qquad$ $\tilde{g}_{44} = g_{45}$

$\tilde{g}_{z21} = g_{z21}$ $\qquad$ $\tilde{g}_{zi2} = \tilde{g}_{i2}\,, \quad i = 1, \dots, 4$

$\hat{g}(p)$ bezeichnet den in das Modell integrierten Mengenregelkreis

$$\hat{g} = \frac{g_r}{1 + g_r g_{64}} = \frac{0{,}496}{1 + 16{,}5p} \text{ mit } g_r = \frac{0{,}03}{p}$$

$$\tilde{\boldsymbol{K}}_s = \begin{bmatrix} 1{,}312 & -0{,}052 & 0 & 0 \\ 0{,}595 & 1{,}272 & -0{,}063 & 0 \\ 0 & -0{,}895 & 0{,}818 & 0 \\ 0 & 0{,}707 & 0{,}114 & 0{,}1 \end{bmatrix}$$

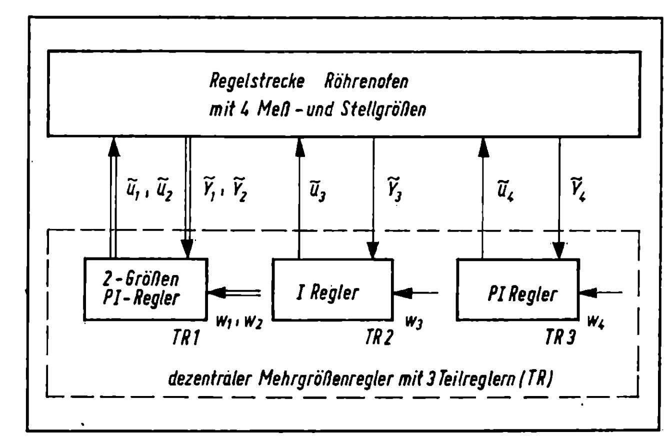



**Bild 4. Vorgeschlagene Regelungsstruktur**

und

$$\det(\widetilde{\boldsymbol{K}}_s) = 0{,}132 \neq 0\ .$$

Außer den führenden Hauptminoren sind sogar *alle* durch Streichen entsprechender Hyperzeilen und -spalten bildbaren Hauptabschnittsdeterminanten von $\widetilde{\boldsymbol{K}}_s$ *größer Null*:

$$\left.\begin{array}{l} \det(\widetilde{K}_{s11}) = 1{,}7\ , \quad \det(\widetilde{K}_{s22}) = 0{,}818\ , \\ \det(\widetilde{K}_{s33}) = 0{,}1\ , \\ \det\begin{pmatrix}\widetilde{K}_{s11} & \widetilde{K}_{s12}\\ \widetilde{K}_{s21} & \widetilde{K}_{s22}\end{pmatrix} = 1{,}316\ , \quad \det\begin{pmatrix}\widetilde{K}_{s11} & \widetilde{K}_{s13}\\ \widetilde{K}_{s31} & \widetilde{K}_{s33}\end{pmatrix} = 0{,}170\ , \\ \det\begin{pmatrix}\widetilde{K}_{s22} & \widetilde{K}_{s23}\\ \widetilde{K}_{s32} & \widetilde{K}_{s33}\end{pmatrix} = 0{,}082\ , \end{array}\right\} \quad (5)$$

so daß die Strecke auch die notwendige Bedingung für ein verbundstabiles Regelungssystem erfüllt [14]. Gleichzeitig impliziert (5), daß — unter Verzicht auf den Vorteil möglichst geringer Rückwirkungen — auch jede beliebige andere Entwurfsreihenfolge der Teilregler zum Erfolg führt.

## Zusammenfassung und Wertung

Ausgewählte Simulationsergebnisse für die entworfene Regelung zeigen die Bilder 5 und 6. Zur weiteren Vereinfachung erfolgte der Entwurf der Teilregler 2 und 3 nicht am jeweils resultierenden Gesamtsystem, sondern an den isolierten Hauptstrecken $g_{33}(p)$ und $g_{44}(p)$. Der aus den nicht vernachlässigbaren Streckenkopplungen resultierende Einfluß bereits angeschlossener Teilregler auf den aktuellen Entwurf fand dabei durch Berechnung von Toleranzbändern, wie sie im Bild 6 angegeben sind, Berücksichtigung [11] und [12]. Für Teilregelung 2 heißt dies z. B., daß sich das tatsächliche Führungs- und Störübergangsverhalten mit Sicherheit innerhalb dieser Toleranzbänder bewegt, unabhängig davon, ob TR 1 momentan an der Strecke arbeitet oder abgeschaltet ist.

Naturgemäß hängt das Ergebnis der Simulation wesentlich von dem gewählten Parameterentwurf ab. Dennoch ist die Schlußfolgerung berechtigt, daß das erhaltene Ergebnis in ebenso starkem Maß die Zweckmäßigkeit der getroffenen Strukturwahl unterstreicht. Bekannterweise führt bei ungünstiger Strukturvorgabe u. U. selbst der „beste Parameterentwurf" nicht zum Ziel.

Insgesamt liegt mit der untersuchten Regelungsstruktur eine erfolgversprechende Lösungsvariante für eine industrielle Ofenregelung vor. Die Simulationsergebnisse am Modell der zugrunde gelegten Versuchsanlage bestätigen die prinzipielle Erfüllbarkeit der dem Regelungsziel entsprechenden Entwurfsforderungen. Die drei verwendeten dezentralen Teilregler sind leicht realisierbar. Als gerätetechnische Lösung scheint ein Mikrorechnerregler mit mehreren E/A-Kanälen besonders attraktiv. Die Inbetriebnahme des Regelungssystems gestaltet sich dank der Möglichkeit eines sequentiellen Vorgehens unkompliziert. Für das herangezogene Beispiel läßt sich bei weitergehender Untersuchung sogar die Verbundstabilität der entworfenen Regelung nachweisen [14]

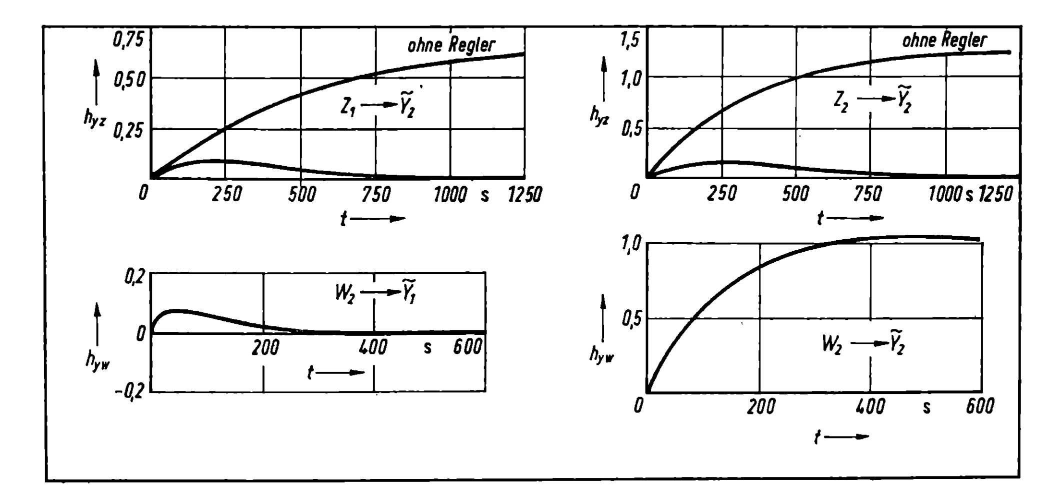



**Bild 5. Ausgewählte Simulationsergebnisse für Teilregler 1**

**Übergangsfunktionen $h_{yz}$ für Störung $z_1$ (Produktmenge) und $z_2$ (Heizgasmenge), Übergangsfunktionen $h_{yw}$ für eine Änderung von $w_2$ (Temperatursollwert)**

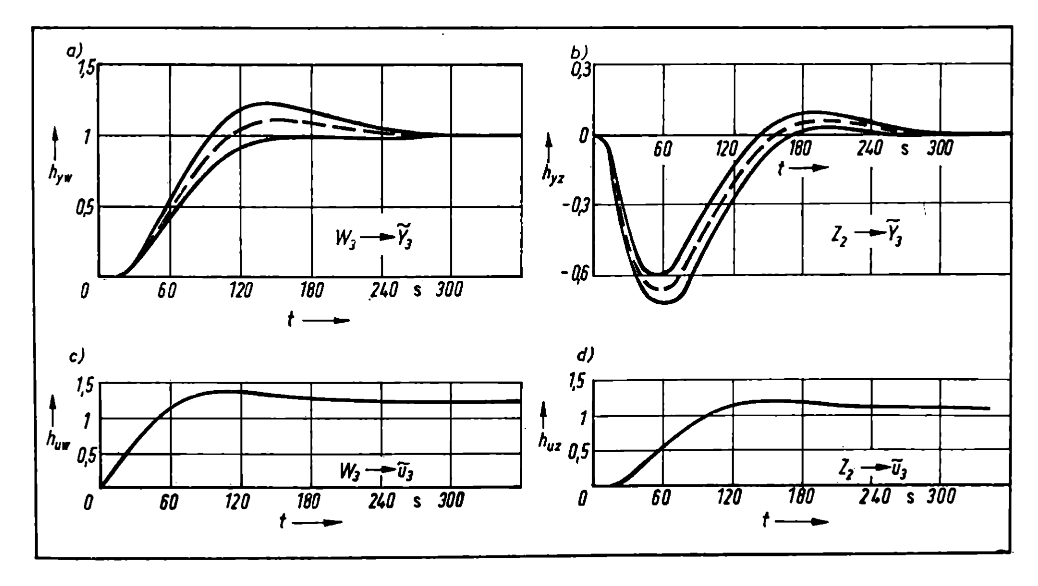



**Bild 6. Ausgewählte Simulationsergebnisse für Teilregler 2**

**Führungsübergangsfunktion $h_{yw}$ mit Stellgrößenverlauf $h_{uw}$ und Störübergangsfunktion $h_{yz}$ mit Stellgrößenverlauf $h_{uz}$**

und [11], so daß eine beliebige Zu- oder Abschaltung der Teilregler bei stets gewährleisteter Stabilität möglich ist.
Ein Blick in die Fachliteratur zu Mehrgrößenregelungen zeigt, daß es, verglichen mit dem großen Angebot leistungsfähiger Verfahren zum Parameterentwurf, nur relativ wenig systematische Wege zur Lösung von Strukturfragen gibt. Mit diesem Beitrag wollten die Autoren anhand eines konkreten Beispiels auf einige ausgewählte Aspekte der Strukturfindung für eine Ofenregelung hinweisen.

### Literatur


[1] *Töpfer, H.; Rudert, S.:* Einführung in die Automatisierungstechnik. 5. Aufl., Berlin: VEB Verlag Technik 1984.
[2] *Korn, U.; Wilfert, H.-H.:* Mehrgrößenregelungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.
[3] Autorenkollektiv: Erzeugnisentwicklung Röhrenöfen. Forschungsbericht TH Magdeburg, Sektionen 8 und 9, 1982.
[4] Autorenkollektiv: Erzeugnisentwicklung Röhrenöfen. Forschungsbericht. TH Magdeburg, Sektionen 8 und 9, 1985.
[5] *Mieter, L.:* Identifikation von Röhrenöfen. Diplomarbeit D 82/464, TH Magdeburg, Sektion 9, 1982.
[6] *Werner, B.; Drößiger, H.-G.:* Vergleichende Untersuchungen und Erfahrungen zur Anwendung von Mehrgrößenregelungsalgorithmen bei der Steuerung von Prozessen der primären Erdölverarbeitung. msr, Berlin 27 (1984) 8, S. 354–357.
[7] *Bierl, P.:* Anwendung moderner Regelungsverfahren zur Automatisierung von Industrieöfen. Tagungsmaterial zur 4. Fachtagung Anwendung von Mikrorechnern in der Meß- und Automatisierungstechnik. TH Magdeburg, 11. und 12. September 1986.
[8] *Raske, F.; Thoma, M.:* Strukturelle Dekomposition von linearen zeitinvarianten Großsystemen. 27. Int. Wiss. Kolloquium, TH Ilmenau 1982. H. 1, S. 3–7.
[9] *Lunze, J.:* Übersicht über die Verfahren zum Entwurf dezentraler Regler für lineare Systeme. msr, Berlin 23 (1980) 6, S. 315–322.
[10] *Davison, E. J.:* Decentralized robust control of unknown systems using tuning regulators. IEEE Trans. AC-23 (1978) 2, pp. 276–288.
[11] *Jumar, U.:* Eine Anwendungsstrategie für robuste Tuning-Mehrgrößenregler mit PI-Charakter. Dissertation A, TH Magdeburg 1986.
[12] *Jumar, U.:* Zur Anwendung eines einfachen Mehrgrößenreglers mit Tuning-Eigenschaften. msr, Berlin 28 (1985) 7, S. 298–302.
[13] *Davison, E. J.; Tripathi, N. K.:* Decentralized tuning regulators: An application to solve the load and frequency control problem for large power systems. Large Scale Systems 1 (1980) 1, pp. 3–15.
[14] *Lunze, J.:* Untersuchungen zur Autonomie der Teilregler einer dezentralen Regelung mit I-Charakter. msr, Berlin 26 (1983) 8, S. 451–456. msr 8609



*D. Balzer; V. Kirbach; B. Koch; H. Metz*


# Zur Strukturierung hierarchischer Prozeßsicherungssysteme

## 0. Einleitung

In der Prozeßsicherung (wie in der Prozeßsteuerung generell) wird der gegenwärtige strukturelle Trend in Richtung dezentralisierter Mehrmikrorechnersysteme weiterhin durch die rapide Entwicklung der Halbleitertechnologie gefördert [1] und [2]. Die wesentlichen Motive für die Nutzung verteilter Mehrrechnersysteme sind:

- Erhöhung der Systemzuverlässigkeit
- Senkung der Kosten
- weitgehende Aufgabenteilung
- Verbesserung der Flexibilität.

Der Entwurf der Struktur dieser Systeme muß bereits in einer sehr frühen Phase der Projektierung erfolgen. Die Strukturentscheidung besitzt erfahrungsgemäß großes Gewicht; problemunangepaßte Strukturen können den Erfolg des gesamten Projekts in Frage stellen. Dem steht entgegen, daß bisher keine determinierten Vorschriften für die Strukturierung von Prozeßsteuerungssystemen bekannt sind. Für kleinere Systeme (bis etwa zehn Elemente) ist eine heuristische Herangehensweise sinnvoll. Eine Reihe hierarchischer Prozeßsteuerungssysteme dieser Größenordnung ist seit Ende der sechziger Jahre realisiert worden. Erfahrungen bezüglich des Strukturentwurfs liegen daher vor [3] und [4]. Bereits in absehbarer Zukunft sind jedoch Forderungen nach außerordentlich komplexen Prozeßsteuerungssystemen zu erwarten. Solche Systeme verlangen determinierte Strukturierungsalgorithmen auf der Basis objektiver, quantitativer Bewertungskriterien. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse bei der Erarbeitung eines Algorithmus zur Strukturierung hierarchischer Prozeßsicherungssysteme vorgestellt.

## 1. Algorithmus zur Strukturierung hierarchischer Prozeßsicherungssysteme (PSS)

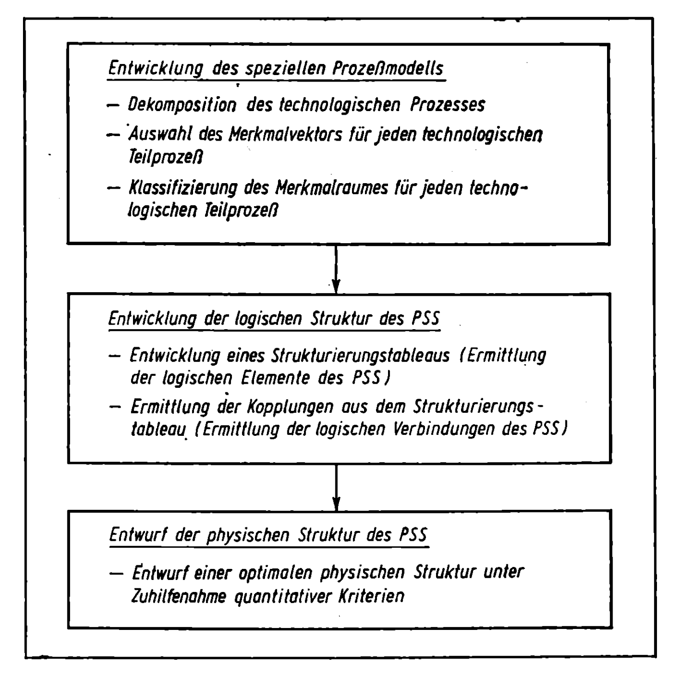
Prozeßsicherungssysteme haben wie alle kybernetischen Systeme eine logische und eine physische Struktur, die nicht notwendig identisch sein müssen. Folglich hat der Algorithmus die physische und die logische Struktur zu ermitteln.
Unter **logischer Struktur** soll speziell die Menge der Prozeßsicherungsalgorithmen und der Informationsfluß zwischen ihnen verstanden werden. Die Realisierung der logischen Struktur stellt die Softwarestruktur dar.
Unter **physischer Struktur** ist die materielle Grundlage der logischen Struktur, also die Struktur der über Datenleitungen gekoppelten Mikrorechner mit ihren peripheren Bausteinen und Geräten, zu verstehen. Die Realisierung der physischen Struktur ist die Hardwarestruktur.
Der vorgeschlagene Algorithmus ist im Bild 1 dargestellt.

## 2. Entwicklung des speziellen Prozeßmodells

Als Grundlage für die Strukturierung muß ein Modell geschaffen werden, das die wesentlichen Eigenschaften des technologischen Prozesses unter Berücksichtigung der Funktion des PSS abbildet. Dies geschieht in folgenden Schritten:

1. Dekomposition des technologischen Prozesses
   Der technologische Prozeß wird in Teilprozesse dekomponiert, die nachstehenden Forderungen genügen sollen:
   — es gibt **nichtausregelbare (nar)** Störgrößen, deren Auswir-

**Bild 1. Algorithmus zur Strukturierung eines PSS**





Prof. Dr. sc. techn. *Dietrich Balzer* (45) studierte von 1961 bis 1965 Automatisierungstechnik am Leningrader Technologischen Institut (LTI). Danach Aspirant am LTI. 1969 Promotion A, 1976 Promotion B. 1969 bis 1975 stellvertretender Direktor des Automatisierungs- und Rationalisierungszentrums im VEB PCK Schwedt. 1975 Berufung zum Dozenten an die Sektion Automatisierungsanlagen der TH Leipzig. 1978 Berufung zum ordentlichen Professor. Seit 1979 Prorektor für Naturwissenschaften und Technik an der TH Leipzig.

Dr.-Ing. *Volkmar Kirbach* (43) studierte von 1963 bis 1969 an der Sektion Verfahrenstechnik der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg; 1979 Promotion an der gleichen Sektion. Seit 1982 wissenschaftlicher Oberassistent an der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

Dipl.-Ing. *Bernd Koch* (29) studierte von 1979 bis 1983 an der Sektion Automatisierungsanlagen der TH Leipzig. 1983 bis 1986 Forschungsstudium am Lehrstuhl Prozeßrechentechnik derselben Sektion. Seit 1986 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW.

Dipl.-Ing. *Helmut Metz* (29) studierte von 1981 bis 1985 an der Sektion Automatisierungsanlagen der TH Leipzig. Seit 1985 als Entwicklungsingenieur im VEB Berliner Werkzeugmaschinenfabrik tätig.

kung auf weitere Teilprozesse durch PSS-Elemente verhindert werden kann

– möglichst geringe Verkopplung der Teilprozesse
– Berücksichtigung topologischer Besonderheiten

Auf Dekompositionsmethoden wird beispielsweise in [4] hingewiesen.

2. Auswahl des Merkmalsvektors
Aus den für die Situationserkennung relevanten Prozeßvariablen muß für jeden technologischen Teilprozeß ein geeigneter Merkmalsvektor formiert werden [5].
3. Klassifizierung des Merkmalsraumes
Der Merkmalsraum jedes technologischen Teilprozesses wird derart in disjunkte Klassen aufgeteilt, daß diese Klassen jeweils qualitativ verschiedene Störsituationen repräsentieren. Darunter sind solche durch nar Störgrößen hervorgerufene Prozeßzustände zu verstehen, die die Beeinflussung unterschiedlicher Mengen $\boldsymbol{M}_j$ technologischer Teilprozesse durch das PSS verlangen. Können durch den $i$-ten Teilprozeß in diesem Sinne $c_i$ qualitativ verschiedene Störsituationen hervorgerufen werden, so wird jeder zugehörigen Menge $\boldsymbol{M}_{i,j}$ ein Abschnitt des Merkmalsraumes $\boldsymbol{R}_i$ zugeordnet:

$$\boldsymbol{R}_{i,j} : \boldsymbol{M}_{i,j} \subseteq \boldsymbol{T}; \qquad i = 1, \dots, m; \qquad j = 1, \dots, c_i \qquad (1)$$

$\boldsymbol{T}$ ist die Menge aller technologischen Teilprozesse.

## 3. Entwicklung der logischen Struktur

Der Grundgedanke bei der folgenden Herleitung der logischen Struktur eines hierarchisch strukturierten PSS aus dem speziellen Prozeßmodell besteht darin, daß jede der definierten Störsituationen einen notwendigen Algorithmus des logischen PSS erfordert. Dieser Algorithmus muß direkt oder abwärts gerichtet über andere Algorithmen des PSS genau die in der zugehörigen Menge $\boldsymbol{M}_{i,j}$ enthaltenen Elemente des technologischen Prozesses beeinflussen.
Es sollen folgende Forderungen erfüllt werden:

1. maximale Verteilung der Prozeßsicherungsaufgaben
2. minimale Anzahl der Kopplungen.

Die Herleitung der Struktur erfolgt mit Hilfe eines **Strukturierungstableaus.** Dies ist ein quadratisches Tableau, auf dessen Abszisse die Elemente $E$ des technologischen Prozesses und auf dessen Ordinate die Anzahl $N$ dieser Elemente je Menge $\boldsymbol{M}_{i,j}$ aufgetragen werden. Gemäß (1) enthält es also genau $m^2$ Felder $F = F(E, N)$.
Die Doppelindizierung werde substituiert durch

$$s = j + \sum_{k=1}^{i-1} c_k . \qquad (2)$$

Es wird nun von allen Mengen $\boldsymbol{M}_s$ der Index $s$ in all jene Felder $\boldsymbol{F}$ des Strukturierungstableaus eingetragen, für die gilt:

$$E \subseteq \boldsymbol{M}_s \wedge N = N(\boldsymbol{M}_s); \qquad s = 1, \dots, \sum_{i=1}^{m} c_i . \qquad (3)$$

Dabei ist es möglich, daß ein und dasselbe Feld mehrere Eintragungen erhält.
Nach Eintragen aller Mengen $\boldsymbol{M}_s$ in das Strukturierungstableau ist zunächst eine Vereinfachung nach Satz 1 vorzunehmen, um identische Unterstrukturen zu vermeiden. Jeder der verbleibenden Mengen $\boldsymbol{M}_s$ entspricht ein Element $P_{jk}$ des PSS ($j$ Nummer der Ebene des PSS; $k$ Nummer des Elementes innerhalb dieser Ebene). Im Anschluß werden die Kopplungen zwischen den Elementen $P_{jk}$ nach Satz 2 und zwischen den Elementen $P_{jk}$ und den technologischen Teilprozessen $T_r$ nach Satz 3 ermittelt.

**Satz 1:** Sind identische Mengen $\boldsymbol{M}_s$ im Strukturierungstableau verzeichnet, so darf jeweils nur eine dieser Mengen im Tableau verbleiben. Jede der nach dieser Vereinfachung im Tableau vorhandenen Mengen repräsentiert genau ein Element des logischen PSS.

**Satz 2:** Zwei Elemente des logischen PSS werden genau dann miteinander gekoppelt, wenn für die beiden zugehörigen Mengen $\boldsymbol{M}_i$ und $\boldsymbol{M}_j$ gilt:

$\boldsymbol{M}_i \supset \boldsymbol{M}_j$ ,

und keine Menge $\boldsymbol{M}_k$ existiert, für die gilt:

$\boldsymbol{M}_i \supset \boldsymbol{M}_k \supset \boldsymbol{M}_j$ .

**Satz 3:** Gibt es zu einer Menge $\boldsymbol{M}_i$ keine Menge $\boldsymbol{M}_j$, für die die Beziehung

$\boldsymbol{M}_i \supset \boldsymbol{M}_j$

erfüllt ist, wird das zu $\boldsymbol{M}_i$ gehörige Element des logischen PSS mit allen in $\boldsymbol{M}_i$ enthaltenen technologischen Teilprozessen direkt gekoppelt.

## 4. Entwicklung der physischen Struktur

Die Bestimmung der physischen Struktur ist ein äußerst komplizierter und vielschichtiger Prozeß. Eine Aufzählung der wichtigsten Einflußfaktoren in einer aus Sicht der Prozeßsicherung geordneten Rangfolge soll dies belegen:

**Prozeßsicherungsspezifische Kriterien**

– Sicherheit
– Zuverlässigkeit
– Funktionserfüllung
– Verarbeitungsleistung
– Ergonomie

**Ökonomische Kriterien**

– Wartung
– Kontingente
– Effektivität
– Topologie

**Organisatorische Kriterien**

– Betriebsorganisation
– Inbetriebnahmeregime.

Das Problem der physischen Strukturierung stellt sich als mehrkriteriales Optimierungsproblem dar, in dem die genannten Einflußfaktoren als Zielfunktionen bzw. Restriktionen auftreten. Erste Versuche der Quantifizierung dieser Einflußgrößen werden in [6] unternommen.
Da bei der Bewertung eines PSS dessen Sicherheit und Zuverlässigkeit die höchsten Prioritäten eingeräumt werden müssen, sollen diese Eigenschaften im folgenden Abschnitt näher untersucht werden.

## 5. Sicherheit und Zuverlässigkeit

In diesem Abschnitt werden Modelle zur Bestimmung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Prozeßsicherungssystemen vorgestellt. Sie sollen als Ausgangspunkt für die quantitative Bewertung physischer Prozeßsicherungsstrukturen dienen.

### 5.1. *Definitionen*

Als **Zuverlässigkeit eines PSS** wird dessen Eigenschaft bezeichnet, in vorgegebenen Grenzen umgebungs- und funktionsbedingter Beanspruchungen über den Nutzungszeitraum in der Lage zu sein, alle im technologischen Prozeß auftretenden nar Störgrößen zu kompensieren.
Als **Sicherheit eines PSS** wird dessen Eigenschaft bezeichnet, in vorgegebenen Grenzen umgebungs- und funktionsbedingter Beanspruchungen über den Nutzungszeitraum keine für den technologischen Prozeß gefährlichen Zustände einzunehmen bzw. Aktionen auszulösen. Diese Definitionen wurden von der in [7] enthaltenen Zuverlässigkeitsdefinition abgeleitet.

### 5.2. *Zuverlässigkeitsmodell*

Jedes Element des PSS kann die Zustände „funktionstüchtig" und „nicht funktionstüchtig" einnehmen. Ist $s$ die Anzahl aller Elemente des PSS, so kann das gesamte PSS $2^s$ verschiedene Zustände einnehmen.
Hat das hierarchische PSS $k$ Ebenen, so kann jedes Element des technologischen Prozesses maximal $(k + 1)$ Zustände bewirken: Es wirkt keine nar Störgröße auf das technologische Element oder es wirkt eine nar Störgröße, die ein bis in die $i$-te Ebene funktionstüchtiges PSS verlangt, $i = 1, \dots, k$.
Damit kann das Gesamtsystem maximal $2^s(k + 1)^m$ verschiedene „Mikrozustände" annehmen. Jedem dieser Mikrozustände läßt sich einer der beiden Systemzustände „gefährlich" oder „nicht gefährlich" zuordnen. Als „gefährlich" wird der Zustand bezeichnet, in dem das PSS ab der $i$-ten Ebene nicht funktionstüchtig ist, und auf das technologische System eine nar Störgröße einwirkt, die nur durch ein mindestens bis in die $i$-te Ebene funktionstüchtiges PSS kompensiert werden kann.
Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens gefährlicher Zustände ist ein Maß zur quantitativen Bewertung der Zuverlässigkeit.
Sei $P_E(r)$ die Wahrscheinlichkeit der Funktionstüchtigkeit des $r$-ten Elements des PSS, so ist

$$P_A(q) = \prod_{r=1}^{q} P_E(r)^{\boldsymbol{V1}_q(r)} \qquad (4)$$

die Wahrscheinlichkeit der Funktionstüchtigkeit des Astes des $q$-ten Elementes des PSS. Als Ast des $q$-ten Elementes wird die PSS-Unterstruktur bezeichnet, die, abwärts gerichtet, mit diesem Element verbunden ist. Der Vektor $\boldsymbol{V1}_q(r)$ kennzeichnet die

zu diesem Ast gehörigen PSS-Elemente:

$$V1_q(r) = \begin{cases} 1\,, & \text{wenn das } r\text{-te Element zum Ast} \\ & \text{des } q\text{-ten Elementes gehört} \\ 0 & \text{sonst}\,. \end{cases} \tag{5}$$

Die Wahrscheinlichkeit $R(j)$, daß im $j$-ten technologischen Element kein gefährlicher Zustand auftritt, berechnet sich wie folgt:

$$R(j) = 1 + \sum_{i=1}^{k} \{\sum_{l=1}^{n(i)} [Q_S(j, i) \cdot (P_A(u) - 1) \cdot V2_j(u)]\}\,. \tag{6}$$

Dabei ist $Q_S(j, i)$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß eine Störung im $j$-ten Element der technologischen Ebene auftritt, die nur durch ein bis in die $i$-te Ebene funktionstüchtiges PSS kompensiert werden kann. $V2_j(u)$ kennzeichnet all jene PSS-Elemente, die dem Ast angehören, der in der konkreten Störsituation benötigt wird.
Die Wahrscheinlichkeit $R_G$, daß im Gesamtsystem kein gefährlicher Zustand auftritt, berechnet sich nach

$$R_G = 1 + \sum_{q=1}^{s} [Q_A(q) \cdot (P_A(q) - 1)]\,, \tag{7}$$

$$Q_A = 1 - \prod_{j=1}^{m} \prod_{i=1}^{k} \prod_{l=1}^{n(i)} [1 - Q_S(j, i) \cdot V2_j(u)]\,. \tag{8}$$

*5.3. Sicherheitsmodell*

Es kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, daß ein Teil der Ausfälle des PSS den technologischen Prozeß gefährden. Bei direkt mit dem technologischen Prozeß gekoppelten PSS-Elementen wird dieses Risiko bedeutend größer sein als bei solchen, die funktionell von der technologischen Anlage weiter entfernt sind. Dies hängt vor allem damit zusammen, daß die Wahrscheinlichkeit, daß wegen eines Fehlers zufällig erzeugte (falsche) Daten trotzdem plausibel sind, mit der funktionellen Distanz zum technologischen System abnimmt. Diese Wahrscheinlichkeit aber wird geringer, weil in Richtung höherer Hierarchieebenen eine Datenverdichtung erfolgt, weniger Daten zu übertragen sind, und diese besser gesichert werden können.
Sei $Q_E(q)$ die Wahrscheinlichkeit, daß eine Störung im $q$-ten Element des PSS dazu führt, daß dieses Element falsche Daten liefert, so gilt:

$$Q_E(q) \leqq 1 - P_E(q)\,. \tag{9}$$

Als **Sicherheitsfaktor** $F_S(q)$ soll der Quotient

$$F_S(q) = \frac{Q_E(q)}{1 - P_E(q)} \tag{10}$$

bezeichnet werden.
Die Wahrscheinlichkeit

$$Q_S(q) = 1 - Q_E(q) \tag{11}$$

sei **Sicherheit** des Elementes $q$ genannt.

Ist $w(q)$ die Anzahl der Pfade, über die das $q$-te PSS-Element mit dem technologischen Prozeß kommunizieren kann, und ist $v(q, i)$ die Anzahl der PSS-Elemente, die auf dem $i$-ten Pfad zwischen $q$-tem PSS-Element und technologischem Prozeß liegen, so soll als effektive Sicherheit des $q$-ten Elementes bezeichnet werden:

$$Q_{Se}(q) = \prod_{i=1}^{w(q)} Q_S(q) \cdot [v(q, i) + 1]^2\,. \tag{12}$$

Für die effektive Sicherheit des gesamten Prozesses kann dann geschrieben werden:

$$Q_{SeG} = \prod_{q=1}^{s} Q_{Se}(q)\,. \tag{13}$$

Voraussetzung ist allerdings, daß fehlerhafte Daten oder Ausfälle von Elementen des PSS nicht zur Funktionsuntüchtigkeit anderer PSS-Elemente führen können.

## 6. Strukturierungsbeispiel

Abschließend soll der im Abschn. 3. beschriebene Algorithmus zur Herleitung der logischen Struktur eines hierarchischen PSS anhand eines praktisch realisierten einfachen Beispiels erläutert werden. Für einen technologischen Prozeß gelte das Modell nach Tafel 1.
Dieses spezielle Prozeßmodell wird in ein Strukturierungstableau eingetragen (Tafel 2).
Die Vereinfachung gemäß Satz 1 beläßt die Mengen $M_1$, $M_2$, $M_3$, $M_4$ und $M_6$ im Tableau. Nach der Durchnumerierung der besetzten Zeilen und Mengen in den Zeilen ergibt sich die in Tafel 3 dargestellte Zuordnung.

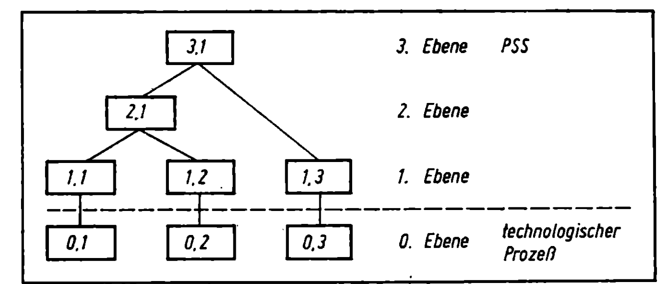



**Bild 2. Logische Struktur des Beispielsystems**

**Tafel 1. Spezielles Modell des technologischen Prozesses**

| Index $j$ des technologischen Elementes | Index $s$ der Menge $M_s$ | Indizes der Elemente der Mengen $M_s$ |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| | 2 | 1, 2 |
| | 3 | 1, 2, 3 |
| 2 | 4 | 2 |
| | 5 | |
| 3 | 6 | 3 |

Anzahl der technologischen Teilprozesse: $m = 3$

**Tafel 2. Strukturierungstableau**

| N | | | |
|---|---|---|---|
| 3 | 3 | 3 | 3 |
| 2 | 2<br>5 | 2<br>5 | |
| 1 | 1 | 4 | 6 |
| | 1 | 2 | 3 E |

**Tafel 3. Zuordnungsschema**

| Index $s$ der Mengen $M_s$ | $k$-tes Element der $j$-ten Ebene des logischen PSS | |
|---|---|---|
| | $j$ | $k$ |
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 1 |
| 3 | 3 | 1 |
| 4 | 1 | 2 |
| 6 | 1 | 3 |

Nach Satz 2 und Satz 3 folgt daraus die im Bild 2 gezeigte logische Struktur des Prozeßsicherungssystems.


## Zusammenfassung

Es wurden erste Ergebnisse von Untersuchungen zur Strukturierung hierarchischer PSS gezeigt. Für die logische Strukturierung konnte ein praktikabler Algorithmus entwickelt werden. Die physische Strukturierung bereitet zur Zeit noch große Schwierigkeiten; es sind noch umfangreiche Forschungsarbeiten zur quantitativen Bewertung der mannigfaltigen Einflußfaktoren zu leisten. Voraussichtlich werden sich nicht alle heuristischen Entscheidungen durch streng determinierte ersetzen lassen. Das endgültige Ziel besteht in der Schaffung eines CAD-Systems für den rechnergestützten Entwurf hierarchischer Prozeßsteuerungsstrukturen.


## Literatur


[1] *Baldeweg, F.; Balzer, D.; Brack, G.:* Automatische Prozeßsicherung in Produktionssystemen. Band 204 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.
[2] *Kriesel, W.:* Weiterentwicklung von Mikrorechner-Automatisierungssystemen unter dem Einfluß lokaler Netze (LAN). msr, Berlin 29 (1986) 1, S. 10 bis 14.
[3] *Hörig, H.-J.; Popp, E.; Balzer, D.:* Einfluß der Mikroelektronik auf Struktur und Leistungsfähigkeit der Automatisierungstechnik für verfahrenstechnische Prozesse und die daraus resultierenden Anforderungen an den Verfahrensingenieur. Chem. Technik 36 (1984) 2, S. 45–50.
[4] *Balzer, D.:* Prozeßkoordinierung in komplexen Systemen (Theorie und Anwendungen). Wissenschaftliche Berichte der TH Leipzig (1983) 3, S. 47.
[5] *Böhme, B.:* Optimierende Steuerung komplexer verfahrenstechnischer Systeme bei unvollständiger Ausgangsinformation. Dissertation B, TH Leipzig 1985.
[6] *Koch, B.:* Entwurf und Gestaltung von Prozeßsicherungssystemen (Arbeitstitel). Dissertation A, TH Leipzig 1986.
[7] TGL 26096/01. Zuverlässigkeit in der Technik, Begriffe. Ausgabe Januar 1978.

msr 8585

*M. Halwaß*

# Selbsteinstellende „Pole-placement"-Regler (Teil 2)[1]

## 6. Self-Tuning

1958 wurde von *Kalman* erstmals die im Bild 5 dargestellte selbsteinstellende Reglerstruktur vorgeschlagen. Sie wurde 1973 von *Åström* und *Wittenmark* wieder aufgegriffen, nachdem alle Voraussetzungen für eine On-line-Prozeßidentifikation gegeben waren. Ergebnis war ein selbsteinstellender Minimalvarianzregler, womit der Begriff „self-tuning" geboren war. Mit dem Erscheinen der ersten Mikroprozessoren, die eine Implementation von selbsteinstellenden Reglerstrukturen attraktiv machten, begann Mitte der 70er Jahre eine bis in die Gegenwart anhaltende Forschung zur selbsteinstellenden Regelung. Zahlreiche Algorithmen, Verfahren und praktische Erfahrungen wurden zu dieser Problematik veröffentlicht. Gekoppelt mit den verschiedensten Parameterschätzverfahren sind selbsteinstellende Polvorgabe-, Minimalvarianz- und LQG-Reglerstrukturen untersucht worden.

Die im Bild 5 gezeigte selbsteinstellende Regelung vereint die zum Entwurf eines Reglers für einen Prozeß mit bekannten Parametern erforderlichen Schritte mit einem rekursiven Parameterschätzverfahren. Die zu jedem Abtastschritt von der Parameterschätzung gelieferten Informationen $\hat{\theta}$ werden als die wahren Prozeßparameter gewertet und zur Berechnung der Reglerparameter benutzt. Selbsteinstellende Regelungen, die auf einer Schätzung der Prozeßparameter und einer darauf gestützten Berechnung der Reglerparameter basieren, werden als Regelungen mit expliziter Prozeßidentifikation oder kurz explizite selbsteinstellende Regelungen bezeichnet. Gelingt es dagegen, statt der Prozeß- die Reglerparameter direkt zu schätzen, so daß der Block „Parameterberechnung" entfällt, spricht man von Regelungen mit impliziter Prozeßidentifikation [3]. Im folgenden werden entsprechend dieser Klassifikation für Polvorgaberegelalgorithmen in Betracht kommende Varianten vorgestellt und diskutiert.

### *6.1. Algorithmen mit expliziter Prozeßidentifikation*

Ein Algorithmus mit expliziter Prozeßidentifikation läßt sich gewinnen, wenn die im Bild 5 gezeigten Funktionsblöcke in folgender Weise konkretisiert werden. Der Block „Parameterschätzung" wird durch RLS/RIV repräsentiert. Die Lösung der diophantischen Gleichung (16) und (17) und die Aufspaltung des Zählerpolynoms $B(q^{-1})$ nach (13) stellen den Block „Parameterberechnung" dar. Das Stellgesetz (5) gibt den Block „Regler" wieder.

**Algorithmus PZP/E**

*Vorgabe:* Die Modellpole $A_m$, die Beobachterdynamik $A_0$, der Polüberschuß $d$ und die Grade $n_a$, $n_b$ der Prozeßpolynome sind a priori vorzugeben.

*Schritt 1:* Schätze die Parameter des expliziten Prozeßmodells

$$A(q^{-1})\, y_k = q^{-d} B(q^{-1})\, u_k + e_k$$

mit Hilfe von RLS ($\xi = 0$) oder RIV ($\xi \neq 0$).

*Schritt 2:* Spalte das Zählerpolynom auf in

$$\hat{B}_k(q^{-1}) = \hat{B}_k^+(q^{-1})\, \hat{B}_k^-(q^{-1}),$$

wobei alle Nullstellen von $\hat{B}_k^+$ innerhalb von $\mathfrak{D}$ liegen.

*Schritt 3:* Löse die diophantische Gleichung

$$\hat{A}_k(q^{-1})\, R_k'(q^{-1}) + q^{-d} \hat{B}_k^-(q^{-1})\, S_k(q^{-1}) = A_m(q^{-1})\, A_0(q^{-1})$$

bzw.

$$\hat{A}_k(q^{-1})\,(1 - q^{-1})\, R_k''(q^{-1}) + q^{-d} \hat{B}_k^-(q^{-1})\, S_k(q^{-1}) = A_m(q^{-1})\, A_0(q^{-1})$$

bez. $R_k'(q^{-1})$, $R_k''(q^{-1})$ und $S_k(q^{-1})$ mit den in (25) bzw. (26) vorgegebenen Gradbedingungen.

*Schritt 4:* Berechne nach dem Stellgesetz

$$R_k(q^{-1})\, u_k = T_k(q^{-1})\, w_k - S_k(q^{-1})\, y_k$$

mit

$$R_k(q^{-1}) = R_k'(q^{-1})\, \hat{B}_k^+(q^{-1}) \text{ bzw.}$$

$$R_k(q^{-1}) = R_k''(q^{-1})\,(1 - q^{-1})\, \hat{B}_k^+(q^{-1}) \text{ und}$$

$$T_k(q^{-1}) = \frac{A_m(1)}{\hat{B}_k^-(1)} A_0(q^{-1})$$

die aktuelle Stellgröße.

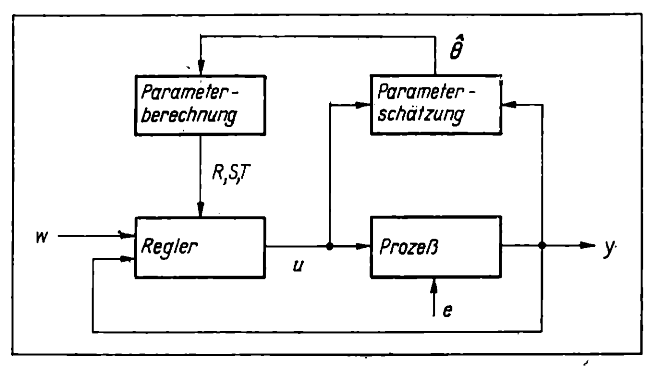



Bild 5. Selbsteinstellende Reglerstruktur

Die Schritte 1, 2, 3 und 4 sind in jeder Abtastperiode zu wiederholen. Um vernachlässigbare Rechentotzeiten zu garantieren, ist die Abarbeitung des Algorithmus auch in der Reihenfolge 4, 1, 2 und 3 sinnvoll. Verzichtet man auf die Kürzung gut gedämpfter Prozeßnullstellen oder ist a priori bekannt, daß alle Prozeßnullstellen innerhalb von $\mathfrak{D}$ liegen, so entfällt mit

$$B_k^+ = 1; \qquad B_k^- = B_k$$

bzw.

$$B_k^+ = \frac{1}{\hat{b}_0} B_k; \qquad B_k^- = \hat{b}_0$$

Schritt 2.

### *6.2. Explizite Prozeßidentifikation* ($\xi = 0$)

Für die Parameterschätzung im Schritt 1 wird das lineare Prozeßmodell

$$y_k = -a_1 y_{k-1} - \dots - a_{n_a} y_{k-n_a} + b_0 u_{k-d} + \dots + b_{n_b} u_{k-d-n_b} \tag{44}$$

vorausgesetzt. Die Elemente des zu schätzenden Parametervektors

$$\hat{\theta} = (\hat{a}_1, \dots, \hat{a}_{n_a}, \hat{b}_0, \dots, \hat{b}_{n_b})^T \tag{45}$$

sind somit Schätzwerte für die gesuchten Koeffizienten der Prozeßpolynome. Das Skalarprodukt

$$\theta^T \varphi_{k-1} = y_k$$

in (41) läßt sich durch (44) ausdrücken, wenn der Regressionsvektor mit

$$\varphi_{k-1} = (-y_{k-1}, \dots, -y_{k-n_a}, u_{k-d}, \dots, u_{k-d-n_b})^T \tag{46}$$

gewählt wird. Nun kann der in (40) benötigte Schätzfehler nach

$$\varepsilon_k = y_k - \hat{\theta}_{k-1}^T \varphi_{k-1} \tag{47}$$

berechnet werden. Die Startwerte in $\hat{\theta}_0$ müssen so gewählt werden, daß die diophantische Gleichung lösbar und der Korrekturfaktor

$$B_m' = \frac{A_m(1)}{\hat{B}_k^-(1)}$$

berechenbar ist. In jedem Fall muß daher

$$\sum_{i=0}^{n_b} \hat{b}_i \neq 0$$

gesichert sein. Mit der Wahl

$$\hat{\theta}_0 = (0, \dots, 0, \neq 0)^T$$

wird diese Forderung beispielsweise erfüllt. Da der im Bild 1 dargestellte Regelkreis vom Führungssignal aktiviert wird, beinhalten Stell- und Regelgröße einen Gleichanteil, der die Erwartungstreue der Schätzung störend beeinflußt. Aus diesem Grund sind der Schätzung die von ihrem Gleichanteil befreiten Meßsignale zuzuführen. Der Gleichanteil läßt sich eliminieren, wenn beide Seiten von (44) mit $(1 - q^{-1})$ multipliziert werden. Auf

[1]) Teil 1 erschien im Heft 3/1987.

diese Weise erhält man die Differenzengleichung

$$\Delta y_k = -a_1 \Delta y_{k-1} - \dots - a_{n_a} \Delta y_{k-n_a} + b_0 \Delta u_{k-d} + \dots + b_{n_b} \Delta u_{k-d-n_b} \quad (48)$$

mit

$$\Delta x_k = (1 - q^{-1})\, x_k = x_k - x_{k-1}\,.$$

(48) ermöglicht gleichzeitig die Elimination eines im Störsignal enthaltenen Gleichanteils $\bar{e}$. Der Regressionsvektor gestaltet sich somit zu

$$\varphi_{k-1} = (-\Delta y_{k-1}, \dots, -\Delta y_{k-n_a}, \Delta u_{k-d}, \dots, \Delta u_{k-d-n_b})^T \quad (49)$$

um. Der Schätzfehler berechnet sich nun aus

$$\varepsilon_k = \Delta y_k - \hat{\theta}^T_{k-1} \varphi_{k-1}\,. \quad (50)$$

Sollte a priori ein I-Anteil des Prozeßmodells (1) bekannt sein, so läßt sich die Zahl der zu schätzenden Parameter um 1 reduzieren. In diesem Fall nimmt (44) die Form

$$\Delta y_k = -\mathfrak{a}_1 \Delta y_{k-1} - \dots - \mathfrak{a}_{n_a-1} \Delta y_{k-n_a+1} + b_0 u_{k-d} + \dots + b_{n_b} u_{k-d-n_b} \quad (51)$$

an, mit

$$a_i = \mathfrak{a}_i - \mathfrak{a}_{i-1} \qquad (i = 1, \dots, n_a - 1)$$

$$a_{n_a} = -\mathfrak{a}_{n_a-1}\,.$$

Da das Stellsignal hier bereits mittelwertfrei ist, sind laut (51) der Parameter- und Regressionsvektor in der Gestalt

$$\hat{\theta} = (\hat{\mathfrak{a}}_1, \dots, \hat{\mathfrak{a}}_{n_a-1}, \hat{b}_0, \dots, \hat{b}_{n_b})^T\,, \quad (52)$$

$$\varphi_{k-1} = (-\Delta y_{k-1}, \dots, -\Delta y_{k-n_a+1}, u_{k-d}, \dots, u_{k-d-n_b})^T \quad (53)$$

zu wählen. Der Schätzfehler ergibt sich aus (50).

### *6.3. Überparametrisierung*

Eine Voraussetzung zur Lösung der diophantischen Gleichung war die Teilerfremdheit von $A(q^{-1})$ und $B(q^{-1})$. Falls diese nicht gegeben ist, wird die Matrix des Gleichungssystems (23) singulär, womit eine Lösung unmöglich wird. $A(q^{-1})$ und $B(q^{-1})$ können gemeinsame Teiler haben, wenn die zur Parameterschätzung vorgegebene Modellordnung größer als die wahre (dominierende) ist. In diesem Fall wird in der Übertragungsfunktion ein Dipol erzeugt. Unter praktischen Bedingungen mit begrenzter Zahlendarstellung verursacht dieser Effekt ein äußerst schlecht konditioniertes Gleichungssystem (23). Falls die diophantische Gleichung mit Hilfe des Euklidischen Algorithmus gelöst wird, läßt sich mit dem letzten von Null verschiedenen Rest eine Aussage über die Konditionierung des Gleichungssystems finden und eine eventuelle Umschaltung auf eine kleinere Modellordnung ableiten.

### *6.4. Explizite Prozeßidentifikation ($\xi \neq 0$)*

Im Fall einer wirksamen Störung kann (1) nach Elimination des Gleichanteils durch die Differenzengleichung

$$\Delta y_k = -a_1 \Delta y_{k-1} - \dots - a_{n_a} \Delta y_{k-n_a} + b_0 \Delta u_{k-d} + \dots + b_{n_b} \Delta u_{k-d-n_b} + \Delta \xi_k \quad (54)$$

beschrieben werden. Das Signal $\Delta\xi$ ist wegen des eingeführten Filters $\Delta$ nicht mehr in sich unkorreliert, was sich an der Autokorrelationsfunktion $R_{\Delta\xi}(1)$, die nun ungleich Null ist, bezüglich $\Delta\xi$ zeigen läßt. Deshalb würde der RLS-Ansatz

$$\varepsilon_k = (\theta - \hat{\theta}_{k-1})^T \varphi_{k-1} + \Delta \xi_k\,,$$

wobei $\hat{\theta}$ und $\varphi$ durch (45) bzw. (49) definiert sind, keine erwartungstreuen Werte für $\hat{\theta}$ liefern. Führt man der Parameterschätzung die Differenzen $\Delta u_k$, $\Delta y_k$ zu, so erscheint das Prozeßmodell bezüglich der Schätzung in einer neuen Struktur, die im Bild 6 vorgestellt wird.

Diese neue Struktur läßt sich als ein ARMAX-Modell mit bekanntem Störfilter interpretieren. Um dennoch die unbekannten Parameter biasfrei schätzen zu können, soll RIV zur Anwendung kommen. Die Grundidee des Hilfsvariablenverfahrens besteht in der Einführung eines zusätzlichen Signals, das möglichst gut mit den von der Störung $\xi$ unbeeinflußten Anteilen von $u$ und $y$, aber nicht mit der Störung $\xi$ selbst korreliert ist [9]. Damit besteht die Aufgabe, zunächst ein geeignetes zusätzliches Signal, d. h. die Hilfsvariable zu finden, die die genannten Forderungen erfüllt. Für die Wahl der Hilfsvariablen sind mehrere Varianten bekannt [8]. Hier wird eine Variante vorgestellt, bei der die Hilfsvariablen aus dem Führungssignal gewonnen werden. Nach der im Bild 1 gezeigten Struktur ergibt sich mit

$$u = u(w) + u(e) = \frac{A_m(1)}{B^-(1)} \frac{A}{A_m B^+} w - \frac{S}{A_m A_0 B^+} e \quad (55)$$

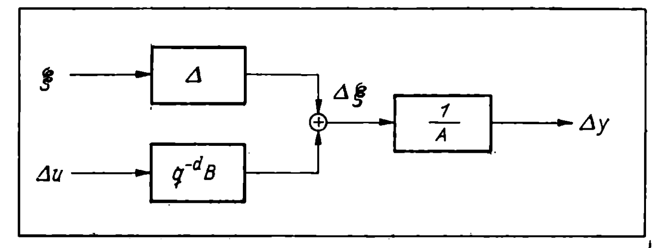



**Bild 6.** Durch Beseitigung des Gleichanteils für die Parameterschätzung neu entstandene Prozeßstruktur

das Übertragungsverhalten von Führung und Störung auf die Stellgröße. Es zeigt sich, daß, wenn $w$ unabhängig von $e$ ist, der Bestandteil der Stellgröße $u(w)$ ebenfalls nicht mit der Störung korreliert ist. Da $u(w)$ die zwei genannten Forderungen erfüllt, ist im Fall der expliziten Prozeßidentifikation mit

$$\mathfrak{u} = \frac{A_m(1)}{\hat{B}^-_k(1)} \frac{\hat{A}}{A_m \hat{B}^+_k} \Delta(w + \tilde{w}) \quad (56)$$

eine geeignete Hilfsvariable gefunden. Die mit der Störung unkorrelierten Ausgangswerte des Hilfssystems bestimmen sich aus

$$\mathfrak{y} = \frac{A_m(1)}{\hat{B}^-_k(1)} \frac{B^-_k}{A_m} q^{-d} \Delta(w + \tilde{w})\,. \quad (57)$$

Da (56) und (57) stets über stabile Pole verfügen, werden die Folgen $\mathfrak{u}_k$ bzw. $\mathfrak{y}_k$ ebenfalls stabil sein. Dieser Vorteil bewirkt eine sehr gute Zuverlässigkeit der Parameterschätzung. Das Signal $\tilde{w}$ wird zeitweilig der Führung überlagert. Es sorgt für die zur Identifikation notwendige Systemanregung. Zwischen den von $\xi$ unbeeinflußten Anteilen von $u$ und $y$ besteht die Beziehung

$$\hat{A}_k(q^{-1})\, \mathfrak{y}_k = q^{-d} \hat{B}_k(q^{-1})\, \mathfrak{u}_k\,. \quad (58)$$

Der gesuchte Hilfsvariablenvektor nimmt somit die Gestalt

$$\psi_{k-1} = (-\mathfrak{y}_{k-1}, \dots, -\mathfrak{y}_{k-n_a}, \mathfrak{u}_{k-d}, \dots, \mathfrak{u}_{k-d-n_b})^T$$

an. $\hat{\theta}$ und $\varphi$ sind entsprechend (45) und (49) zu wählen. Schätzwerte für das gefilterte Störsignal lassen sich durch

$$\Delta\hat{\xi}_k = \varepsilon_k$$

gewinnen. Mit $\xi = 0$ geht vermöge (58) $\psi$ in $\varphi$ und somit der RIV- in den RLS-Algorithmus über. Der vorgestellte Hilfsvariablenalgorithmus behält seine Gültigkeit, wenn das in (1) beschriebene Prozeßmodell durch ein ARMAX-Modell mit der Gleichung

$$A(q^{-1})\, y_k = q^{-d} B(q^{-1})\, u_k + C(q^{-1})\, e_k \quad (59)$$

ersetzt wird.

### *6.5. Algorithmen mit impliziter Prozeßidentifikation*

Die Grundidee impliziter Algorithmen besteht darin, das Prozeßmodell in den Reglerparametern auszudrücken, d. h. die Reglerparameter direkt zu schätzen. Infolgedessen entfallen die Entwurfsschritte zur Berechnung der Reglerpolynome aus den geschätzten Prozeßpolynomen. In den weiteren Ausführungen wird diese Grundidee erläutert. Daran anschließend werden geeignete Algorithmen vorgestellt, die eine direkte Schätzung der Reglerpolynome zulassen.

Gegeben seien das Prozeßmodell ($\xi = 0$)

$$Ay = q^{-d} Bu \quad (60)$$

und die diophantische Gleichung

$$AR' + q^{-d} B^- S = A_m A_0\,. \quad (61)$$

Gesucht ist eine implizite Prozeßidentifikation. Sie läßt sich gewinnen, wenn beide Seiten von (61) mit $y$ multipliziert und der Term $Ay$ in (61) durch (60) ersetzt wird. Auf diese Weise erhält man die Gleichung

$$q^{-d} B^- B^+ R' u + q^{-d} B^- S y = A_m A_0 y$$

oder nach Ausklammern

$$B^-(Rq^{-d} u + Sq^{-d} y) = A_m A_0 y\,. \quad (62)$$

Für den Fall, daß der Regler über einen I-Anteil verfügen soll, gewinnt man mit der diophantischen Gleichung (17) die implizite Prozeßidentifikation

$$B^-(\mathfrak{R} q^{-d} \Delta u + S q^{-d} y) = A_m A_0 y\,, \quad (63)$$

wobei sich die Koeffizienten $r_i$ wie folgt bestimmen

$$r_i = \mathfrak{r}_i - \mathfrak{r}_{i-1} \qquad (i = 1, \dots, n_r - 1)$$

$$r_{n_r} = -\mathfrak{r}_{n_r-1}\,.$$

Ausgehend von der gefundenen impliziten Prozeßidentifikation (62) und (63) kann folgender Algorithmus aufgestellt werden.

**Algorithmus PZP/I**

*Vorgabe*: Die Modellpole $A_m$, die Beobachterdynamik $A_0$, der Polüberschuß $d$ und die Grade $n_b$, $n_r$, $n_s$ sind a priori vorzugeben.

*Schritt 1*: Schätze die Parameter des impliziten Prozeßmodells

$$B^-(Rq^{-d}u + Sq^{-d}y) + R'e = A_m A_0 y$$

bzw.

$$B^-(\Re q^{-d}\Delta u + Sq^{-d}y) + R'e = A_m A_0 y$$

mit Hilfe von BRLS ($\xi = 0$) oder BRIV ($\xi \neq 0$).

*Schritt 2*: Untersuche das Polynom $\hat{B}_k^-$ auf innerhalb von $\mathfrak{D}$ liegende Nullstellen. Verringere den Polynomgrad von $B^-$ um 1 bzw. 2, falls eine gut gedämpfte Nullstelle gefunden wurde.

*Schritt 3*: Berechne nach dem Stellgesetz

$$R_k u_k = T_k w_k - S_k y_k$$

mit

$$T_k = \frac{A_m(1)}{\hat{B}_k^-(1)} A_0$$

die aktuelle Stellgröße.

Die Schritte 1, 2 und 3 sind in jeder Abtastperiode zu wiederholen. Um vernachlässigbare Rechentotzeiten zu garantieren, ist auch hier die Abarbeitung des Algorithmus in der Reihenfolge 3, 1, 2 sinnvoll. Der gezeigte, Prozeßnullstellen kürzende Algorithmus wird mit $n_{\bar{b}} = n_b$ gestartet. Die Übernahme einer stabilen Prozeßnullstelle als Reglerpol erfolgt erst dann, wenn diese wiederholt in $\mathfrak{D}$ gefunden wurde und die Parametervarianz ein Minimum angenommen hat. Ist eine Kürzung gut gedämpfter Prozeßnullstellen unerwünscht oder sollte a priori bekannt sein, daß alle Prozeßnullstellen innerhalb von $\mathfrak{D}$ liegen, so entfällt mit

$$\hat{B}_k^- = \hat{B}_k \quad \text{bzw.} \quad \hat{B}_k^- = \hat{b}_0$$

Schritt 2.

### 6.6. *Implizite Prozeßidentifikation* ($\xi = 0$)

Man beachte, daß die impliziten Prozeßgleichungen (62) und (63) bilinear in den Koeffizienten der Polynome $B^-$, $R$ und $S$ sind. Die RLS setzt aber eine lineare Beziehung voraus. Als Ausweg wird für (62) und (63) eine geeignete lineare Näherung gesucht, die eine iterative Berechnung der gesuchten Parameterschätzwerte

$$\hat{\theta} = (\hat{b}_0^-, \dots, \hat{b}_{n_{\bar{b}}}^-, \hat{r}_1, \dots, \hat{r}_{n_r}, \hat{s}_0, \dots, \hat{s}_{n_s})^T \tag{64}$$

gestattet. Hierzu wird entsprechend (62) die Bedingungsgleichung

$$f(\theta) = B^-(Rq^{-d}u + Sq^{-d}y) - A_m A_0 y = 0 \tag{65}$$

definiert. Entwickelt man $f(\theta)$ an der Stelle $\theta = \hat{\theta}$ in eine Taylor-Reihe, so erhält man

$$f(\theta) = f(\hat{\theta}) + (\theta - \hat{\theta})^T f_\theta + \tfrac{1}{2}(\theta - \hat{\theta})^T f_{\theta\theta}(\theta - \hat{\theta}) = 0\,, \tag{66}$$

wobei $f_\theta$ der Gradient und $f_{\theta\theta}$ eine Matrix mit den zweiten partiellen Ableitungen (Hessesche Matrix) von $f(\theta)$ an der Stelle $\theta = \hat{\theta}$ sind. Die Taylor-Reihe bricht bereits nach dem quadratischen Glied ab, da die partiellen Ableitungen höherer Ordnung Null sind. (66) ist ebenfalls bilinear in den Unbekannten. Um eine lineare Näherung zu erhalten, wird das quadratische Glied in (66) vernachlässigt. Auf diese Weise bekommt man letztlich die gesuchte lineare Beziehung

$$-f(\hat{\theta}_{k-1}) = (\theta - \hat{\theta}_{k-1})^T f_\theta(\hat{\theta}_{k-1})\,, \tag{67}$$

deren lokale Konvergenz dadurch bestärkt wird, daß viele der zweiten partiellen Ableitungen selbst schon Null sind. Ein Vergleich zwischen (67) und (41) liefert mit

$$\varphi_k = f_\theta(\hat{\theta}_k)\,, \tag{68}$$

$$\varepsilon_k = -f(\hat{\theta}_{k-1}) \tag{69}$$

die Beziehungen zur Bestimmung des Regressionsvektors und des Schätzfehlers. Der Startvektor $\hat{\theta}_0$ muß hier ebenfalls

$$\sum_{i=0}^{n_{\bar{b}}} \hat{b}_i^- \neq 0$$

sichern, damit der Korrekturfaktor

$$B'_m = \frac{A_m(1)}{\hat{B}_k^-(1)}$$

bestimmbar ist. Mit der Wahl

$$\hat{\theta}_0 = (0, \dots, \neq 0, 0, \dots, 0, 0, \dots, 0)^T$$

wird diese Forderung beispielsweise erfüllt. Zur Elimination des in den Signalen $u$ und $y$ enthaltenen Gleichanteils werden die Bedingungsgleichungen

$$\left.\begin{aligned} f(\theta) &= B^-(Rq^{-d}\Delta u + Sq^{-d}\Delta y) - A_m A_0 \Delta y = 0 \\ \text{bzw.} \\ f(\theta) &= B^-(\Re q^{-d}\Delta^2 u + Sq^{-d}\Delta y) - A_m A_0 \Delta y = 0 \end{aligned}\right\} \tag{70}$$

benutzt. Dabei sind die zweiten Differenzen $\Delta^2$ wie folgt definiert

$$\Delta^2 x_k = \Delta x_k - \Delta x_{k-1} = (1 - q^{-1})^2 x_k = $$
$$= x_k - 2x_{k-1} + x_{k-2}\,.$$

Die Anwendung von (64), (68), (69) auf (40) soll hier als BRLS (bilinear RLS) bezeichnet werden.

*Sonderfälle*

1. $B^- = b_0$.

Multipliziert man (62) aus, so wird die implizite Prozeßidentifikation

$$B^-Rq^{-d}u + B^-Sq^{-d}y = A_m A_0 y$$

gewonnen, die sich zu

$$\tilde{R}q^{-d}u + \tilde{S}q^{-d}y = A_m A_0 y \tag{71}$$

vereinfachen läßt. Der Versuch, mit Hilfe von RLS die Polynome $\tilde{R}$ und $\tilde{S}$ zu schätzen und ihren größten gemeinsamen Teiler $B^-$ zu beseitigen, um letztlich die Polynome $R$ und $S$ zu gewinnen, scheitert. Die Ursache hierfür liegt darin, daß (71) keine Bedingungen enthält, die den Schätzalgorithmus zwingen könnten, die beiden Polynome $\tilde{R}$ und $\tilde{S}$ so zu schätzen, daß $B^-$ ihr größter gemeinsamer Teiler ist. Eine Ausnahme liegt vor, wenn der größte gemeinsame Teiler eine Konstante, d. h. $B^- = b_0$ ist. In diesem Fall kann (71) in der Form

$$b_0 u_{k-d} + \dots + b_0 r_{n_r} u_{k-d-n_r} + b_0 s_0 y_{k-d} + \dots +$$
$$+ b_0 s_{n_s} y_{k-d-n_s} = A_m A_0 y_k$$

geschrieben werden. Da $R$ monisch ist, wird $b_0$ direkt geschätzt. Daher ist eine Bestimmung der Reglerpolynome nach

$$\left.\begin{aligned} R_k &= \frac{1}{\tilde{r}_0}\tilde{R}_k \\ S_k &= \frac{1}{\tilde{r}_0}\tilde{S}_k \end{aligned}\right\} \tag{72}$$

möglich. Die Normierung kann entfallen, wenn das Stellgesetz

$$\tilde{R}_k u_k = A_m(1)\, A_0 w_k - \tilde{S}_k y_k$$

benutzt wird. Die zur Parameterschätzung erforderlichen Vektoren sind mit

$$\hat{\theta} = (\tilde{r}_0, \dots, \tilde{r}_{n_r}, \tilde{s}_0, \dots, \tilde{s}_{n_s})^T\,,$$

$$\varphi_{k-1} = (\Delta u_{k-d}, \dots, \Delta u_{k-d-n_r}, \Delta y_{k-d}, \dots, \Delta y_{k-d-n_s})^T$$

zu wählen. Der Schätzfehler berechnet sich aus

$$\varepsilon_k = A_m A_0 \Delta y_k - \hat{\theta}_{k-1}^T \varphi_{k-1}\,.$$

2. $B^- = B$

Für diesen Sonderfall wurde in [5] eine interessante Lösung vorgeschlagen, die eine bilineare Bedingungsgleichung vermeidet. Die Idee besteht darin, eine lineare Bedingungsgleichung zu erzwingen, indem mehr Parameter als notwendig geschätzt werden. Gegeben seien das Prozeßmodell

$$\left.\begin{aligned} Ay &= Bq^{-d}u \\ \text{oder} \\ y &= Bq^{-d}v \\ u &= Av \end{aligned}\right\} \tag{73}$$

und die diophantische Gleichung

$$AR + q^{-d}BS = A_m A_0\,. \tag{74}$$

Setzt man voraus, daß $A$ und $B$ teilerfremd sind, so lassen sich zwei Polynome $X$ und $Y$ mit den Gradbedingungen für $R$ bzw. $S$ finden, die die spezielle Gleichung

$$AX + q^{-d}BY = 1 \tag{75}$$

erfüllen. Die Gleichung (74) wird sich nicht verändern, wenn sie mit (75) und $v$ multipliziert wird. Auf diese Weise erhält man

$$-AvR - q^{-d}BvS + A_m A_0 AvX + A_m A_0 q^{-d}BvY = 0\,. \tag{76}$$

Durch Austausch der in (73) definierten Signale bekommt man letztlich mit

$$-Ru - Sy + A_m A_0 Xu + A_m A_0 Y_y = 0$$

eine in den Koeffizienten der zu schätzenden Polynome $R$, $S$, $X$, $Y$ lineare Bedingungsgleichung. $X$ und $Y$, als Reglerpolynome benutzt, ergeben einen Dead-beat-Regler, da vermöge (19) und (75) alle charakteristischen Pole in den Ursprung der $z$-Ebene gelegt werden. Der Regressionsvektor und der zu schätzende

Parametervektor zeigen sich in der Form

$$\hat{\theta} = (\hat{r}_1, \dots, \hat{r}_{n_r}, \hat{s}_0, \dots, \hat{s}_{n_s}, \hat{x}_1, \dots, \hat{x}_{n_r}, \hat{y}_0, \dots, \hat{y}_{n_s})^T ,$$

$$\varphi_{k-1} = (-\Delta u_{k-1}, \dots, -\Delta u_{k-n_r}, -\Delta y_k, \dots, -\Delta y_{k-n_s}, \bar{u}_{k-1}, \dots, \bar{u}_{k-n_r}, \bar{y}_k, \dots, \bar{y}_{k-n_s})^T$$

mit

$$\bar{u}_k = A_m A_0 \Delta u_k , \quad \bar{y}_k = A_m A_0 \Delta y_k .$$

Der Schätzfehler ist aus

$$\varepsilon_k = \bar{u}_k - \Delta u_k + \hat{\theta}^T_{k-1} \varphi_{k-1}$$

zu berechnen.

### 6.7. *Implizite Prozeßidentifikation* ($\xi \neq 0$)

Für das vom Gleichanteil befreite Prozeßmodell

$$A \Delta y = q^{-d} B \Delta u + \Delta \xi$$

kann mit der diophantischen Gleichung (16) die implizite Prozeßgleichung

$$B^-(q^{-d} R \Delta u + q^{-d} S \Delta y) + R' \Delta \xi = A_m A_0 \Delta y \tag{77}$$

gefunden werden. Das dazugehörige Modell ist im Bild 7 dargestellt. Entsprechend (77) wird die Bedingungsgleichung

$$f(\theta) = B^-(q^{-d} B^+ R' \Delta u + q^{-d} S \Delta y) + (R' - 1) \Delta \xi - A_m A_0 \Delta y = -\Delta \xi \tag{78}$$

definiert. Nach erfolgter Taylor-Reihenentwicklung und Vernachlässigung des quadratischen Gliedes erhält man die lineare Beziehung

$$-f(\hat{\theta}_{k-1}) = (\theta - \hat{\theta}_{k-1})^T f_\theta(\hat{\theta}_{k-1}) + \Delta \xi_k , \tag{79}$$

die mit

$$\varphi_k = f_\theta(\hat{\theta}_k) , \tag{80}$$

$$\varepsilon_k = -f(\hat{\theta}_{k-1}) \tag{81}$$

Berechnungsvorschriften für den Regressionsvektor bzw. Schätzfehler liefert. Bildet man nach (78) den Gradienten, so zeigt sich, daß dieser von den nichtmeßbaren Störgrößen $\Delta \xi$ abhängig ist. Um dennoch den Gradienten bestimmen zu können, müssen die nichtmeßbaren $\Delta \xi$ durch Schätzwerte $\Delta \hat{\xi}$ ersetzt werden. (79) zeigt, daß für $\theta = \hat{\theta}$ der Schätzfehler und die Differenz des Störsignals identisch sind. Deshalb soll zur Beschaffung der Schätzwerte

$$\Delta \hat{\xi}_k = \varepsilon_k$$

gelten. Die Berücksichtigung des Störfilters $\Delta R'$ in (78) erfordert eine getrennte Schätzung von $B^+$ und $R'$. Setzt man einen zeitinvarianten Prozeß voraus und beginnt den Schätzalgorithmus mit $B^- = B$, so kann $B^+$ als bekannt angnommen werden. Die Polynommultiplikation $R = R' B^+$ ließe sich dann mit

$$\tilde{u} = B^+ u$$

in

$$f(\theta) = B^-(q^{-d} R' \Delta \tilde{u} + q^{-d} S \Delta y) + (R' - 1) \Delta \xi - A_m A_0 \Delta y = -\Delta \xi$$

und dem Stellgesetz

$$\tilde{u} R' = T w - S y$$

vermeiden.

Infolge der nicht erfüllten Bedingung

$$\Delta R' \overset{!}{=} 1$$

in (77) ist BRLS zur Schätzung der gesuchten Koeffizienten von $B^-$, $R$ und $S$ nicht geeignet. RIV ließe sich auf (77) anwenden, wenn es gelänge, geeignete Hilfsvariablen zu finden. Nach der im Bild 1 gezeigten Struktur ergibt sich mit

$$y = y(w) + y(e) = \frac{A_m(1)}{B^-(1)} \frac{B^-}{A_m} q^{-d} w + \frac{R'}{A_m A_0} e$$

das Übertragungsverhalten von Führung und Störung auf die Regelgröße. Es zeigt sich, daß, wenn $w$ unabhängig von $e$ ist, der Bestandteil der Regelgröße $y(w)$ ebenfalls mit der Störung unkorreliert ist. Daher ist mit

$$\mathfrak{y} = \frac{A_m(1)}{\hat{B}^-_k(1)} \frac{\hat{B}^-_k}{A_m} q^{-d} \Delta(w + \tilde{w}) \tag{82}$$

im Fall der impliziten Prozeßidentifikation eine geeignete Hilfsvariable gefunden. Die mit der Störung unkorrelierten Eingangswerte des Hilfssystems bestimmen sich entsprechend dem Stellgesetz (4) aus

$$R_k \mathfrak{u} = \frac{A_m(1)}{\hat{B}^-_k(1)} A_0 \Delta(w + \tilde{w}) - S_k \mathfrak{y} . \tag{83}$$

Die Nullstellen von $R_k$ in (83) können während der Einstellphase durchaus kurzzeitig außerhalb des Einheitskreises liegen. Die Stabilität der Folge $\mathfrak{u}_k$ ist aber in jedem Fall zu sichern. Die

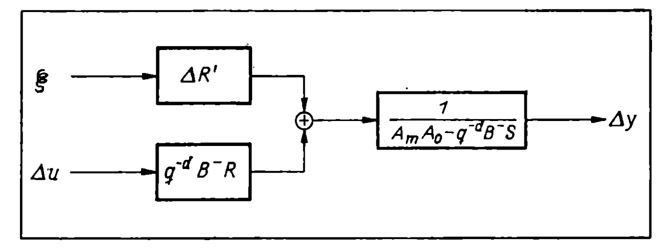



**Bild 7. Modellstruktur für die implizite Prozeßgleichung bei gestörtem System**

Folge $\mathfrak{u}_k$ bleibt beschränkt, wenn mit Hilfe von (5) ihre Werte begrenzt oder die Koeffizienten von $R_k$ so begrenzt werden, daß die Nullstellen von $R_k$ innerhalb des Einheitskreises liegen. Analog zu (65) und (68) ist der gesuchte Hilfsvariablenvektor in der Form

$$\psi_k = f_\theta(\hat{\theta}_k) \tag{84}$$

zu wählen, wobei

$$f(\theta) = B^-(R q^{-d} \mathfrak{u} + S q^{-d} \mathfrak{y}) - A_m A_0 \mathfrak{y} = 0$$

ist. $\hat{\theta}$ und $\varphi$ sind entsprechend (64) bzw. (68) definiert. Die Anwendung von (64), (68), (84) und (69) auf (40) soll hier als BRIV bezeichnet werden. Auch im Fall der impliziten Prozeßidentifikation kann der Übergang von BRIV in BRLS für $\xi = 0$ und $\theta = \hat{\theta}$ gezeigt werden. Tauscht man (1) durch (59) aus, so ergibt sich die implizite Prozeßgleichung

$$B^-(R q^{-d} u + S q^{-d} y) + C R' e = A_m A_0 y ,$$

auf die der gezeigte BRIV-Algorithmus ebenfalls anwendbar ist.

## 7. LQG-Entwurf

Für den Fall, daß die zufälligen Variablen $\xi$ dem Normalverteilungsgesetz genügen, liegt es nahe, lineare quadratisch optimale Stellgesetze anzuwenden. Das optimale Stellgesetz minimiert das Funktional

$$J(\varrho) = E\{y^2(\xi) + \varrho u^2(\xi)\} = \lim_{N \to \infty} E \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \{y_k^2(\xi) + \varrho u_k^2(\xi)\} , \tag{85}$$

d. h. die Varianz der Stell- und Regelgröße. Ein selbsteinstellender LQG-Regler für die im Bild 1 gezeigte Struktur soll hier kurz vorgestellt werden.

**Algorithmus LQG/E**

*Vorgabe*: Der Bewertungsfaktor $\varrho$, der Polüberschuß $d$ und die Polynomgrade $n_a$, $n_b$ sind a priori vorzugeben.

*Schritt 1*: Schätze die Parameter des Modells
$$A(q^{-1})\, y_k = q^{-d} B(q^{-1})\, u_k + \xi_k$$
mit Hilfe von RIV.

*Schritt 2*: Löse das Spektralfaktorisierungsproblem
$$P(z)\, P(z^{-1}) = \varrho A(z)\, A(z^{-1}) + B(z)\, B(z^{-1})$$
mit einem Iterationsschritt und bestimme die Koeffizienten des Polynoms $P_k(q^{-1})$.

*Schritt 3*: Löse die diophantische Gleichung
$$\hat{A}_k R'_k + q^{-d} \hat{B}_k S'_k = P_k$$
bezüglich $R'_k$ und $S'_k$ mit den Gradbedingungen
$n_a \geqq n_b$, $n_a \geqq n_{am}$, $n_p = n_a$, $n_{r'} = n_b + d - 1$, $n_{s'} = n_a - 1$.

*Schritt 4*: Berechne nach dem optimalen Stellgesetz
$R_k u = T_k w - S_k y$ die aktuelle Stellgröße, wobei
$$R_k = A_m R'_k,\ S_k = A_m S'_k,\ T_k = \frac{A_m(1)}{\hat{B}_k(1)} P_k \text{ ist.}$$

Die berechneten Reglerpolynome ermöglichen eine Kombination des gewünschten Führungsverhaltens mit der zur Minimierung von (85) notwendigen Störübertragung gemäß

$$y = \frac{A_m(1)}{B(1)} \frac{B}{A_m} q^{-d} w + \frac{R'}{P} \xi = y(w) + y(\xi) .$$

Auf die im Schritt 2. erforderliche Spektralfaktorisierung und weitere Probleme des LQG-Entwurfs wird in [6] ausführlich eingegangen. Die zur Identifikation benötigten Hilfsvariablen können mit

$$\mathfrak{u} = \frac{A_m(1)}{\hat{B}_k(1)} \frac{\hat{A}_k}{A_m} \Delta(w + \tilde{w}) ,$$

$$\mathfrak{y} = \frac{A_m(1)}{\hat{B}_k(1)} \frac{\hat{B}_k}{A_m} q^{-d} \Delta(w + \tilde{w})$$

gewonnen werden. Der Algorithmus LQG/E unterscheidet sich von PZP/E im wesentlichen durch die Spektralfaktorisierung,

die sich als Nullstellenberechnung interpretieren läßt. Ein Algorithmus LQG/I mit exakter oder genäherter impliziter Prozeßidentifikation konnte nicht gefunden werden.

## 8. Simulationsbeispiele

Im folgenden werden selbsteinstellende Regler mit expliziter und impliziter Prozeßidentifikation vorgestellt. Die Simulationsergebnisse wurden an einem Reglerentwurfsarbeitsplatz auf Mikrorechnerbasis (Bürocomputer A 5120) [7] gewonnen.

*Beispiel 3*:

Gegeben ist das diskrete Prozeßmodell mit der Differenzengleichung

$$(1 - 0{,}85q^{-1})\, y_k = (1 + 0{,}4q^{-1} - 0{,}05q^{-2})\, q^{-1}u_k\,.$$

Die Prozeßnullstellen lauten

$$z_1 = -0{,}5\,, \quad z_2 = 0{,}1\,.$$

$z_2$ liegt in $\mathfrak{D}$ und soll gekürzt werden. Nach erfolgter Ausführung von (13) ergibt sich

$$B^+ = (1 + b_1^+q^{-1}) = (1 - 0{,}1q^{-1})\,,$$
$$B^- = (b_0^- + b_1^-q^{-1}) = (1 + 0{,}5q^{-1})\,.$$

Gesucht ist ein selbsteinstellender Regler mit impliziter Prozeßidentifikation, dem die A-priori-Informationen $n_a = 1$, $n_b^- = 1$, $n_b^+ = 1$, $d = 1$, $\xi = 0$ zur Verfügung gestellt werden. Zunächst sollen die Reglerparameter berechnet werden, wenn die Pole der Führungsübertragung mit

$$A_m = 1 + p_1q^{-1} + p_2q^{-2} = 1 - q^{-1} + 0{,}34q^{-2}$$

und ein Dead-beat-Beobachter

$$A_0 = 1$$

vorgegeben werden. Vermöge (25) sind die Polynomgrade von $R'$, $R$ und $S$ mit

$$n_{r'} = n_b^- + d - 1 = 1\,,$$
$$n_r = n_b + d - 1 = 2\,,$$
$$n_s = n_a - 1 = 0$$

gegeben. Die zu lösende diophantische Gleichung (16) lautet

$$(1 + a_1q^{-1})(1 + r_1'q^{-1}) + q^{-1}(b_0^- + b_1^-q^{-1})\, s_0 = $$
$$= 1 + p_1q^{-1} + p_2q^{-2}\,.$$

Mit Hilfe eines Koeffizientenvergleichs findet man das Gleichungssystem

$$\begin{pmatrix} 1 & b_0^- \\ a_1 & b_1^- \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1' \\ s_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_1 - a_1 \\ p_2 \end{pmatrix},$$

dessen Lösung

$$r_1' = \frac{(p_1 - a_1)\, b_1^- - p_2b_0^-}{b_1^- - a_1b_0^-} \quad \text{und} \quad s_0 = \frac{p_2 - a_1(p_1 - a_1)}{b_1^- - a_1b_0^-}$$

Berechnungsvorschriften für die unbekannten Koeffizienten liefert. Gemäß (15) gelangt man mit

$$R = R'B^+ = (1 + r_1'q^{-1})(1 + b_1^+q^{-1}) =$$
$$= 1 + (b_1^+ + r_1')\, q^{-1} + r_1'b_1^+q^{-2}\,,$$
$$T = \frac{A_m(1)}{B^-(1)}\, A_0 = \frac{1 + p_1 + p_2}{b_0^- + b_1^-}$$

zu den übrigen Koeffizienten. Unter Benutzung der vorgegebenen Daten können letztlich die Reglerpolynome

$$R(q^{-1}) = 1 + r_1q^{-1} + r_2q^{-2} = 1 - 0{,}4074q^{-1} + 0{,}0307q^{-2}\,,$$
$$S(q^{-1}) = s_0 = 0{,}1574\,,$$
$$T(q^{-1}) = t_0 = 0{,}2266$$

berechnet werden. Im weiteren soll kurz der für dieses Beispiel spezifische BRLS-Algorithmus vorgestellt werden. Infolge der in (60), (61) und (62) gezeigten Schritte und unter Berücksichtigung der Elimination des Gleichanteils findet man die implizite Prozeßgleichung

$$(b_0^- + b_1^-q^{-1})\,\{(1 + r_1q^{-1} + r_2q^{-2})\, q^{-1}\Delta u + s_0q^{-1}\Delta y\} =$$
$$= A_m\Delta y\,.$$

Die zur Schätzung benötigte Bedingungsgleichung gewinnt man zu

$$f(\theta) = (b_0^- + b_1^-q^{-1})\,\{(1 + r_1q^{-1} + r_2q^{-2})\, q^{-1}\Delta u +$$
$$+ s_0q^{-1}\Delta y\} - A_m\Delta y = 0\,.$$

Der Parametervektor der zu schätzenden Polynomkoeffizienten möge die Form

$$\hat{\theta} = (\hat{b}_0^-, \hat{b}_1^-, \hat{r}_1, \hat{r}_2, \hat{s}_0)^T$$

haben. Die partiellen Ableitungen an der Stelle $\theta = \hat{\theta}_k$ lauten

$$\left.\frac{\partial f(\theta)}{\partial b_0^-}\right|_{\theta=\hat{\theta}_k} = (1 + \hat{r}_1q^{-1} + \hat{r}_2q^{-2})\, q^{-1}\Delta u_k + \hat{s}_0q^{-1}\Delta y_k\,,$$

$$\left.\frac{\partial f(\theta)}{\partial b_1^-}\right|_{\theta=\hat{\theta}_k} = (1 + \hat{r}_1q^{-1} + \hat{r}_2q^{-2})\, q^{-2}\Delta u_k + \hat{s}_0q^{-2}\Delta y_k\,,$$

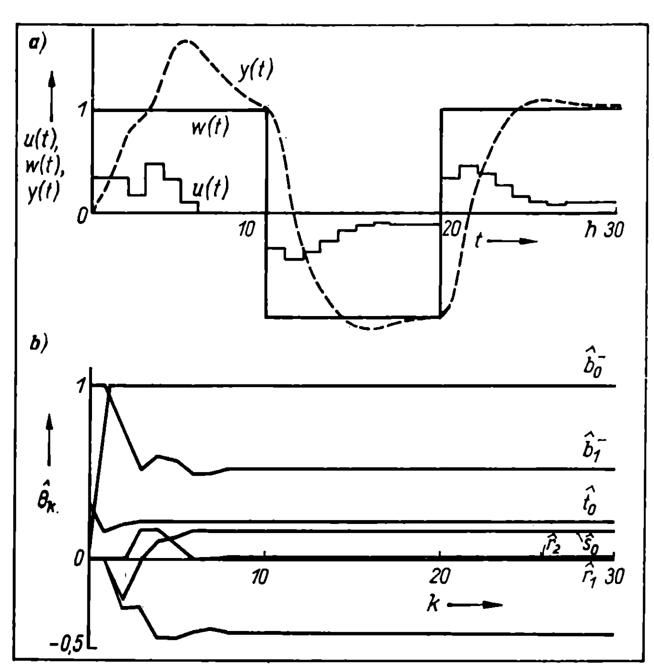



**Bild 8. Simulationsergebnisse Beispiel 3. (implizite Prozeßidentifikation)**

a) Signalverläufe $u(t)$, $w(t)$ und $y(t)$ für $0 \leq t \leq 30$ h. Für $t > 10$ h zeigt der Regelkreis bereits das gewünschte Verhalten; b) Konvergenzverlauf der Parameterschätzung. Die Parameterschätzung kann zum Zeitpunkt $k = 10$ bereits als abgeschlossen betrachtet werden. Die Differenzen zwischen berechneten und geschätzten Koeffizienten wurden für $k = 30$ bestimmt:

$\Delta b_0^- = 0{,}003$; $\Delta b_1^- = 0{,}025$; $\Delta r_1 = 0{,}018$; $\Delta r_2 = 0{,}014$; $\Delta s_0 = 0{,}005$; $\Delta t_0 = 0{,}004$

$$\left.\frac{\partial f(\theta)}{\partial r_1}\right|_{\theta=\hat{\theta}_k} = (\hat{b}_0^- + \hat{b}_1^-q^{-1})\, q^{-2}\Delta u_k\,,$$

$$\left.\frac{\partial f(\theta)}{\partial r_2}\right|_{\theta=\hat{\theta}_k} = (\hat{b}_0^- + \hat{b}_1^-q^{-1})\, q^{-3}\Delta u_k\,,$$

$$\left.\frac{\partial f(\theta)}{\partial s_0}\right|_{\theta=\hat{\theta}_k} = (\hat{b}_0^- + \hat{b}_1^-q^{-1})\, q^{-1}\Delta y_k\,.$$

Für den Regressionsvektor gilt vermöge (68)

$$\varphi_k = f_\theta(\hat{\theta}_k) = \left.\left(\frac{\partial f(\theta)}{\partial b_0^-}, \frac{\partial f(\theta)}{\partial b_1^-}, \frac{\partial f(\theta)}{\partial r_1}, \frac{\partial f(\theta)}{\partial r_2}, \frac{\partial f(\theta)}{\partial s_0}\right)^T\right|_{\theta=\hat{\theta}_k}$$

Den Schätzfehler liefert

$$\varepsilon_k = -f(\hat{\theta}_{k-1})\,.$$

Als Startwerte wurden

$$\hat{\theta}_0 = (0, 1, 0, 0, 0)^T; \qquad \varphi_0 = \mathbf{0}; \qquad \mathbf{P}_0 = 1000 \cdot \mathbf{I}$$

gewählt.

Die Simulationsergebnisse des selbsteinstellenden Reglers sind im Bild 8 grafisch dargestellt. Der BRLS-Algorithmus zeigt sehr gute Konvergenzeigenschaften.

*Beispiel 4*:

Gegeben sei entsprechend (59) ein ARMAX-Modell mit der Differenzengleichung

$$(1 - 0{,}86q^{-1})\, y_k = (0{,}08 + 0{,}06q^{-1})\, q^{-1}u_k +$$
$$+ (1 - 0{,}5q^{-1})\, \xi_k\,.$$

Für dieses Prozeßmodell ist ein selbsteinstellender Regler gesucht, dem die A-priori-Informationen $n_a = 1$, $n_b = 1$, $n_b^+ = 0$, $d = 1$, $\xi \neq 0$ mitgeteilt werden. Die Pole der Führungsübertragung werden hier mit

$$A_m(q^{-1}) = 1 + p_1q^{-1} + p_2q^{-2} = 1 - 1{,}5q^{-1} + 0{,}6q^{-2}$$

gewählt. Die optimale Beobachterdynamik ist in diesem Fall

$$A_0(q^{-1}) = C(q^{-1}) = 1 - 0{,}5q^{-1}\,.$$

Da das Störfilter $C(q^{-1})$ vom RIV-Algorithmus nicht geliefert wird, soll der Einfachheit halber auch hier

$$A_0(q^{-1}) = 1$$

angenommen werden. Zunächst sollen die Reglerparameter für das bekannte Prozeßmodell bestimmt werden. Vermöge (25) findet man die Polynomgrade

$$n_r = n_b + d - 1 = 1\,, \qquad n_s = n_a - 1 = 0\,.$$

Die diophantische Gleichung (16) erhält die Form

$$(1 + a_1q^{-1})(1 + r_1q^{-1}) + q^{-1}(b_0 + b_1q^{-1})\, s_0 =$$
$$= 1 + p_1q^{-1} + p_2q^{-2}\,.$$

Analog zu den im Beispiel 3. gezeigten Lösungsschritten gewinnt man die Berechnungsvorschriften

$$r_1 = \frac{(p_1 - a_1)\, b_1 - p_2 b_0}{b_1 - a_1 b_0}\,; \qquad s_0 = \frac{p_2 - a_1(p_1 - a_1)}{b_1 - a_1 b_0}\,;$$

$$t_0 = \frac{1 + p_1 + p_2}{b_0 + b_1}$$

Die konkreten Reglerpolynome lauten

$$R(q^{-1}) = 1 + r_1 q^{-1} = 1 - 0{,}6708 q^{-1}\,,$$

$$S(q^{-1}) = s_0 = 0{,}3850\,,$$

$$T(q^{-1}) = t_0 = 0{,}7143\,.$$

Der selbsteinstellende Regler soll auf der Basis einer expliziten Prozeßidentifikation (RIV) arbeiten. Die vom Tuner zu berechnenden Reglerparameter

$$\hat{r}_1 = \frac{(p_1 - \hat{a}_1)\, \hat{b}_1 - p_2 \hat{b}_0}{\hat{b}_1 - \hat{a}_1 \hat{b}_0}\,; \qquad \hat{s}_0 = \frac{p_2 - \hat{a}_1(p_1 - \hat{a}_1)}{\hat{b}_1 - \hat{a}_1 \hat{b}_0}\,;$$

$$\hat{t}_0 = \frac{1 + p_1 + p_2}{\hat{b}_0 + \hat{b}_1}$$

werden gegen die oben berechneten konvergieren, wenn die geschätzten Parameter

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = (\hat{a}_1, \hat{b}_0, \hat{b}_1)^T$$

gegen die wahren Prozeßparameter konvergieren. Die erforderlichen Hilfsvariablen lassen sich aus

$$\mathfrak{u}_k = \frac{A_m(1)}{\hat{B}(1)}\,(1 + \hat{a}_1 q^{-1})\, \Delta(w_k + \tilde{w}_k) - (p_1 + p_2 q^{-1})\, q^{-1} \mathfrak{u}_k$$

$$\mathfrak{y}_k = \frac{A_m(1)}{\hat{B}(1)}\,(\hat{b}_0 + \hat{b}_1 q^{-1})\, q^{-1} \Delta(w_k + \tilde{w}_k) - (p_1 + p_2 q^{-1})\, q^{-1} \mathfrak{y}_k$$

berechnen. Der Regressions- und Hilfsvariablenvektor nimmt somit die Gestalt

$$\boldsymbol{\varphi}_k = (-\Delta y_k, \Delta u_k, \Delta u_{k-1})^T \quad \text{bzw.} \quad \boldsymbol{\psi}_k = (-\mathfrak{y}_k, \mathfrak{u}_k, \mathfrak{u}_{k-1})^T$$

an. Als Startwerte wurden

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_0 = (0, 0, 1)^T; \qquad \boldsymbol{\varphi}_0 = \mathbf{0}; \qquad \boldsymbol{\psi}_0 = \mathbf{0}; \qquad \boldsymbol{P}_0 = 1000 \cdot \boldsymbol{I}$$

gewählt. Bild 9 zeigt die Simulationsergebnisse zu diesem Beispiel.


**Zusammenfassung**

Der Beitrag stellt digitale Regelalgorithmen für Eingrößensysteme vor. Das Führungsverhalten des geschlossenen Kreises wird durch Vorgabe der charakteristischen Pole festgelegt. Durch die Verwendung einer Reglerstruktur mit zwei Freiheitsgraden lassen sich Stellgesetze finden, die durch sehr gute Robustheitseigenschaften gegen Modellungenauigkeiten gekennzeichnet sind, die eine Berücksichtigung von Stellbegrenzungen zulassen und die leicht mit einem integrierenden Anteil ausgerüstet werden können. Aufgrund dieser Eigenschaften sind die gezeigten Stellgesetze besonders gut für den praktischen Einsatzfall geeignet.

Koppelt man den „Pole-placement"-Regler mit einem rekursiven Parameterschätzverfahren, so lassen sich verschiedene Lösungen für selbsteinstellende Regler mit expliziter oder impliziter Prozeßidentifikation finden. Im störungsfreien Fall wurde die Methode der kleinsten Fehlerquadrate verwendet. Für gestörte Systeme hingegen wurde das Hilfsvariablenverfahren gewählt. Die Hilfsvariablen wurden so festgelegt, daß die Hilfsmodelle mit den Modellen im störungsfreien Fall identisch sind.

Es zeigt sich, daß A-priori-Kenntnisse über den Prozeß oder Regler vorteilhaft zur Vereinfachung der Algorithmen verarbeitet werden können. Für viele praktisch sinnvolle Modellansätze ist die Berechnung der Prozeßnullstellen mit wenigen arithmetischen Operationen realisierbar, wodurch dem selbsteinstellenden Regler auch die Entscheidung über eine Pol-/Nullstellenkompensation überlassen werden kann. Mit dem Austausch der Prozeßnullstellenberechnung gegen eine Spektralfaktorisierung können für spezielle Modellansätze quadratisch optimale Regelgesetze gefunden werden. Die Simulation auf dem Bürocomputer A 5120 veranschaulichte ein gutes Verhalten der vorgeschlagenen Regelalgorithmen unter praxisnahen Bedingungen.

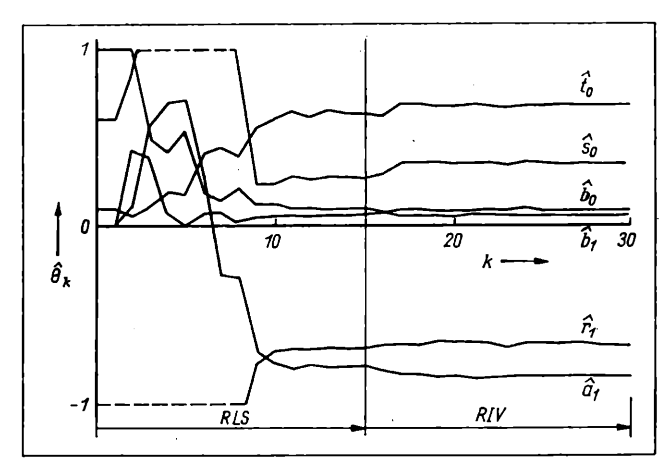




**Bild 9. Konvergenzverlauf der geschätzten Prozeßparameter und der daraus berechneten Reglerkoeffizienten**

Aufgrund der adaptiven Eigenschaften des RIV-Algorithmus wurde in den ersten 15 Abtastschritten RLS benutzt und erst danach auf RIV umgeschaltet. Simulationsbedingungen:

$w(t) = 1(t) - 2(t - 15\,\text{h})$; $\tilde{w}_k$ gleichverteiltes, 16-wertiges Signal ($\tilde{w}_k = i/50$; $-8 \leqq i \leqq 7$); $\xi_k$ normalverteiltes Signal, Varianz $\sigma^2 = \lim\limits_{N \to \infty} \frac{1}{N} \sum\limits_{k=1}^{N} \xi_k^2 = 0{,}0025$; $\Delta b_0 = 0{,}00052$; $\Delta b_1 = 0{,}0042$; $\Delta a_1 = 0{,}006$; $\Delta r_1 = 0{,}0045$; $\Delta s_0 = 0{,}022$; $\Delta t_0 = 0{,}023$


**Anmerkung**

Für wertvolle Hinweise zur Anfertigung des Manuskriptes und die kritische Betrachtung der vorgeschlagenen Algorithmen möchte ich Herrn Dr. sc. techn. *B. Lampe* danken.


**Literatur**


[1] *Ackermann, J.:* Abtastregelung. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1972.

[2] *Åström, K. J.; Wittenmark, B.:* Computer Controlled Systems — Theory and Design. Prentice-Hall 1984.

[3] *Åström, K. J.; Wittenmark, B.:* Self-tuning controllers based on pole-zero placement. IEE Proc. 127 (1980), S. 120—130.

[4] *Bierman, G. J.:* Factorization Methods for Discrete Sequential Estimation. New York: Academic Press 1977.

[5] *Clarke, D. W.:* Self-tuning Control of Nonminimum-phase Systems. Automatica 20 (1984), S. 501—517.

[6] *Halwaß, M.:* Selbsteinstellende LQG-Regelung. msr, Berlin (in Vorbereitung).

[7] *Halwaß, M.:* Interaktiver Entwurf digitaler Regler mit Hilfe von Computergrafik. 5. Symposium Maritime Elektronik, Rostock 1986.

[8] *Söderström, T.; Stoica, P.:* Comparison of some instrumental variable methods — consistency and accuracy aspects. Automatica 17 (1981), S. 101 bis 115.

[9] *Strejc, V.:* Least Squares Parameter Estimation. Automatica 16 (1980), S. 535—550.

[10] *Tou, J. T.:* Digital and Sampled-data Control Systems. New York/Toronto/London: Mc Graw-Hill book company, inc. 1959.

[11] *Wittenmark, B.; Åström, K. J.:* Practical issues in the implementation of self-tuning control. Automatica 20 (1984), S. 595—606.

[12] *Wellstead, P. E.; Prager, D.; Zanker, P.:* Pole assignment selftuning regulator. IEE Proc. 126 (1979), S. 781—787. msr 8551



*D. Rudolf*


# Steuerprogramm- und Programmiersystem SPS 6000 für Fertigungskomplexe

## 0. Einleitung

Das Steuerprogramm- und Programmiersystem SPS 6000 wurde 1984/85 für das industrielle Steuerungssystem P 6000 entwickelt und erfolgreich zum Einsatz gebracht. Einen wesentlichen Beitrag leisteten die Vorarbeiten des ZKI der AdW zur Implementierung des Sprachkonzepts Steuergraph-Mikro für das System K 1520 [11].

## 1. Gerätetechnischer Bezug

Die Gerätetechnik des industriellen Steuerungssystems P 6000, für die SPS 6000 entwickelt wurde, ist ausführlicher in [1] und [2] beschrieben. Es handelt sich um K 1520-Konfigurationen mit der ZRE K 2521, die durch die Ausstattung eines entspre-


Dr.-Ing. *Dieter Rudolf* (36) studierte von 1969 bis 1973 an der Politechnika Gdańska/VR Polen Elektronik. Von 1973 bis 1980 wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik der TH Ilmenau. 1979 Promotion A zur Simulation von Echtzeitbetriebssystemen. Von 1980 bis 1982 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Energetik Leipzig. Seither Abteilungsleiter für Entwicklung elektronischer Rationalisierungsmittel im VEB Robotron-Rationalisierung Weimar.

chenden Grundgerätes (Steuerschrank mit Stromversorgungsbaugruppen) mit binären und analogen Prozeßeingabe-/-ausgabebaugruppen dem zu steuernden Prozeß modular angepaßt werden können.

## 2. Softwarekonzept

Das Softwarekonzept geht davon aus, daß das bewährte Echtzeitsteuerprogrammsystem EIEX 1521 die beste Grundlage der Entwicklung maschinenorientierter Systemunterlagen — MOS — für das Steuerungssystem P 6000 bildet. Durch seinen modularen Aufbau und die Generierbarkeit von Komponenten und Parametern sind die Voraussetzungen gegeben, ein auf die Erfordernisse des Anwenders zugeschnittenes Steuerprogramm anzubieten. Mehrjährige Erprobungserfahrungen sichern eine entsprechende Zuverlässigkeit der MOS EIEX 1521. Das Steuerprogrammsystem SPS 6000 stellt also nichts anderes dar, als ein der zugrunde liegenden Gerätetechnik angepaßtes und erweitertes EIEX 1521.
Darüber hinaus stellte sich die Aufgabe, dem Anwender ein automatisierungsgerechtes Programmiersystem anzubieten, um die aufwendige und im Prozeß der Inbetriebnahme und Instandhaltung schwer handhabbare Assemblerprogrammierung abzulösen. Für diese Zwecke bot sich das Sprachkonzept Steuergraph-Mikro (SGM) als Grundlage für die Entwicklung problemorientierter Systemunterlagen — POS — an.

## 3. Steuerprogrammsystem SPS 6000 — MOS

Die Modifikationen des EIEX 1521, die aufgrund gerätetechnischer Bedingungen erforderlich waren, wurden auf ein Minimum beschränkt und beeinflussen die Funktionen des EIEX 1521 in keiner Weise. Darüber hinaus wurden eine Reihe P 6000-spezifische Funktionen in das EIEX 1521 integriert:

- P 6000-spezifische RETI-Behandlung
  Die Prozeßsteckeinheiten des Systems P 6000 sind mit einer Interruptbeschleunigerlogik ausgestattet, die durch Auslösung des RETI-Befehls von der Adresse 388H angestoßen wird. Für die Nutzung dieser Logik machte es sich erforderlich, ab Adresse 386 H die Befehlsfolge EI, NOP, RETI fest zu installieren und diese als Austrittspunkt für alle Interruptserviceroutinen zu benutzen.
- Bedienerkommunikation über Prozeßfunktionstastatur PFT K 9425
  Neben der Bedienerkommunikation über alphanumerische Tastatur (K 7602/K 7604/K 7634 über ATD K 7026) und Bildschirm MON 1 (K 7221) ist es möglich, eine verkürzte Bedienerkommunikation mittels PFT K 9425 [1] zu benutzen. Eine Notwendigkeit dazu besteht überall dort, wo der durch Volltastatur und Bildschirm gewährleistete Schutzgrad IP 20 nicht ausreicht. Die PFT K 9425 gestattet mit 24 Stellen alphanumerischer Anzeige (6 × VQC 10) und 21 mehrfach belegten Funktionstastern eine uneingeschränkte Benutzung aller SPS 6000-Funktionen. Die PFT K 9425 kann auch für einsatzfallspezifische Kommunikation benutzt werden. Dazu stehen entsprechende Steuerprogrammsystemrufe zur Bedienung der Prozeßfunktionstastatur zur Verfügung.
- Systemanlauf-, Inbetriebnahme- und Fehlerortungshilfen
  Zur Unterstützung des Anwenders bei der Organisation des Systemanlaufs sowie bei Inbetriebnahme und Fehlerortung wurde eine Reihe von Rufen und Kommandos in das EIEX 1521 integriert. Diese Rufe und Kommandos gestatten, die Prozeßeingabe-/-ausgabebaugruppen über ihre Adresse oder Steckplatznummer anzusprechen, zu identifizieren, zu initialisieren und zur Ausführung von Eingaben und Ausgaben zu veranlassen.
  Mit Kommandos kann der Bediener jede einzelne Baugruppe ansprechen und somit ihre Funktionen prüfen, durch die Steuerprogrammsystemrufe können Anwenderprogramme auf Makroniveau programmiert werden.
- Systemüberwachungsfunktionen
  Die Systemüberwachung der P 6000 bezieht sich im On-line-Betrieb auf die Funktionen
  - Netzausfall
  - TIME-OUT
  - Programmzykluszeit.

  Das Steuerprogrammsystem signalisiert den Fehlerfall durch das Anlaufen bestimmter Programmpunkte.
  Dem Anwender sind Schnittstellen zum Anschluß anwendungsspezifischer Behandlungsroutinen verfügbar.

Eine ausführliche Beschreibung der SPS 6000-MOS ist in [3] bis [5] zu finden.

## 4. Programmiersystem Steuergraph-Mikro (SGM) — POS

Das Programmiersystem Steuergraph-Mikro besteht aus den Hauptkomponenten

- Fachsprache Steuergraph-Mikro (SGM) [7]
- SGM-Übersetzer für MEOS 1521 (MRES A 5601) [9], SCP 1715 und SCP 5120
- SGM-Interpreter für SPS 6000 [8]
- SGM-Testhilfen für SPS 6000 [10].

Mit der **Fachsprache Steuergraph-Mikro** steht dem Automatisierungstechniker ein wirksames Instrument zur rationellen Programmierung von Steuerungsabläufen zur Verfügung.
Die Prozeßanalyse führt den Automatisierungstechniker zwangsläufig zu einem Zustandsgraphen, dessen Knoten den Steuerzuständen und dessen Kanten den Fortschaltbedingungen entsprechen. Die Steuerzustände sind physisch auftretenden Prozeßzuständen eineindeutig zuordenbar, die Fortschaltbedingungen, in der Regel Boolesche Gleichungen, unterliegen keinerlei Minimierung im Rahmen eines komplexen logischen Bedingungssystems, so daß die Vergleichbarkeit Prozeßzustand — Steuerzustand und Fortschaltbedingungen — Prozeßsignale jederzeit von der Inbetriebnahme- bis zur Instandsetzungsphase gegeben ist.
Parallele Prozesse werden durch getrennte Steuergraphen beschrieben. Der koordinierte Markenfluß ist sozusagen „Wesenselement" von Steuergraph-Mikro, während bei anderen Beschreibungsmitteln die Erfassung paralleler Prozesse meist mehr oder weniger „aufgepfropft" ist.
Die Fachsprache wurde durch ein Hardware-Vereinbarungsteil ergänzt. Durch Auflistung der in der Konfiguration verwendeten Prozeßeingabe-/-ausgabebaugruppen in Verbindung mit erforderlichen Konfigurierungsinformationen erfolgt automatisch während des Übersetzerlaufs eine Zuordnung zwischen Prozeßsignalen und internen Variablenbezeichnungen.
Der **SGM-Übersetzer** ist aufgrund seines Speicherbedarfs an einen Programmierarbeitsplatz gebunden. Die Entwicklung liegt für MEOS 1521 (MRES A 5601), SCP 1715 und SCP 5120 vor. Der Übersetzer dient dem Erfassen, Korrigieren und Übersetzen von SGM-Quellprogrammen. Im Übersetzungslauf entsteht ein Objektkode, die sogenannte Strukturliste.
Der **SGM-Interpreter** läuft mit einer Reihe von unterstützenden Programmen als Anwendertask unter SPS 6000. Er arbeitet die vom SGM-Übersetzer erzeugte Strukturliste ab, wobei die im Quellprogramm beschriebenen Aktivitäten realisiert werden. Außerdem aktualisiert er zyklisch die SGM-spezifischen Datenbereiche: Eingabe-, Merker- und Ausgabebereich. Impulsförmige Eingangssignale, die prozeßbedingt kürzer sind als der Interpreterzyklus, können über Interrupt zwischengespeichert werden, wenn dies im Quellprogramm vereinbart wurde. Im Interpreterzyklus werden die den markierten Knoten zugeordneten Operationen ausgeführt und die Weiterschaltbedingungen dieser Knoten geprüft. Da alle nichtmarkierten Knoten unberücksichtigt bleiben, ergeben sich Vorteile bezüglich der Abarbeitungszeit gegenüber Steuerungsalgorithmen auf der Basis verknüpfungsorientierter Beschreibungen.
Die **SGM-Testhilfen** bestehen im wesentlichen aus bildschirmorientierten Echtzeit-Anzeigeprogrammen, die die Ausgabe der Belegung aller für Test und Inbetriebnahme relevanten SGM-Variablen

- Blockmarken
- Knotenmarken
- Eingangsvariable
- Ausgangsvariable
- Merker
- Zeitvariable

in problemorientierter Form vornehmen.
Die Betriebsart „Echtzeitkommentare" dient der Bedienerinformation während der Inbetriebnahme und in der Betriebsphase. Echtzeitkommentare sind Bestandteil der Knoteninformation. Ist ein solcher kommentarbehafteter Knoten markiert, dann erfolgt die Anzeige des Echtzeitkommentars auf dem Bildschirm bzw. bei verkürzter Bedienerführung über die Prozeßfunktionstastatur PFT K 9425.

## Schlußbemerkungen

Mit dem Beitrag konnte nur ein informatorischer Überblick gegeben werden. Interessierte Leser werden daher insbesondere auf die angeführten Systemunterlagen-Dokumentationen verwiesen. In einem weiteren Beitrag soll über Anwendungserfahrungen berichtet werden, die beim Einsatz von Steuerungsalgorithmen auf der Basis von Steuergraph-Mikro gesammelt werden konnten.

(Fortsetzung auf Seite 216)

*T. Pfeiffer; F. Arendt*

# Einsatz der Fachsprache Steuergraph-Mikro bei der Realisierung eines Steuerungsalgorithmus für einen Fertigungskomplex

## 0. Einleitung

Die Fachsprache Steuergraph-Mikro (SGM) bietet sehr günstige Voraussetzungen zur effektiven Umsetzung einer Steuerungsaufgabe in ein Mikrorechnerprogramm. Insbesondere eignet sie sich zur Realisierung paralleler Prozeßabläufe. Zur Modellierung und Formalisierung der automatisierungstechnischen Aufgabenstellung wird von ablauforientierten Beschreibungsmitteln ausgegangen, wodurch eine übersichtliche Darstellung des Steuerungsalgorithmus erreicht wird. Diese Darstellung läßt sich direkt und strukturgetreu in ein SGM-Programm überführen. Im vorliegenden Anwendungsfall werden zur Beschreibung steuerungstechnisch interpretierte Petri-Netze, Steuergraphen genannt, verwendet.

## 1. Steuerungstechnische Beschreibungsmittel und Fachsprachen

Für eine effektive Beschreibung komplexer industrieller Binärsteuerungen muß das verwendete Beschreibungsmittel notwendigerweise folgendeAnforderungen erfüllen [1]:

- Problemorientierung
- Realisierungsunabhängigkeit
- Anschaulichkeit
- Durchgängigkeit
- Modularität
- Parallelität.

Die ersten beiden Anforderungen ergeben sich daraus, daß in der Phase der Problembeschreibung und -präzisierung problemspezifische Details eindeutig gegenüber realisierungsspezifischen Fragen Vorrang haben. Da am Steuerungsentwurf über alle Entwurfsphasen bis zur Inbetriebnahme und Wartung viele unterschiedlich qualifizierte Fachleute beteiligt sind, wird von steuerungstechnischen Beschreibungsmitteln ein im Vergleich zur konventionellen Rechentechnik wesentlich höheres Maß an Anschaulichkeit erwartet, das zumindest für umfangreiche Steuerungsaufgaben nur grafische Beschreibungsmittel bieten. Die Verständigung zwischen den am Entwurf und Betrieb einer Steuerung Beteiligten wird erleichtert, wenn das Beschreibungsmittel durchgängig für alle Entwurfsphasen geeignet ist. Anderenfalls müssen Referenzen zwischen verschiedenen Beschreibungsmitteln hergestellt werden, und der Aufwand für Dienstprogramme (z. B. Rückübersetzer) steigt. Dekomponierbarkeit und Parallelität sind meist Grundeigenschaften der zu automatisierenden Prozesse, die zu modularen und parallelen Steuerungen führen. Mit ihrer Berücksichtigung bei der Gestaltung von Beschreibungsmitteln wird der Forderung nach Problemorientierung unmittelbar entsprochen.
Betrachtet man die Entwicklungstendenzen auf diesem Gebiet auf der Grundlage der genannten Anforderungen, so erweisen sich 2 Beschreibungsmittel für komplexe Aufgabenstellungen als geeignet:

- Funktionsplan (FUP) [9] und [10]
- Petri-Netz-orientierte Beschreibungsmittel [11].

Der wesentliche Vorteil der Petri-Netz-orientierten Beschreibungsmittel besteht darin, daß sie mit dem Markierungskonzept über ein leistungsfähiges Hilfsmittel zur Beschreibung paralleler Abläufe verfügen und daß Methoden zur Netzstrukturierung existieren. Aus diesem Grund wurde SGM auf der Basis strukturierter, steuerungstechnisch interpretierter Petri-Netze als Beschreibungsmittel für das Steuerungssystem P 6000 gewählt. Die Entwicklung grafischer Eingabemöglichkeiten führt dazu, daß die Grenzen zwischen Beschreibungsmitteln und Fachsprachen langsam verschwinden. SGM geht wegen der geringeren Anforderungen an die Bedienperipherie noch von einer alphanumerischen Eingabe aus, die sich aus der grafischen Darstellung durch strukturerhaltende Substitution der grafischen Elemente ergibt.

## 2. Methodische Grundlagen

Im Beschreibungsmittel SGM fließen folgende methodischen Komponenten zusammen [2] bis [4]:

- Petri-Netz-Modell
- steuerungstechnische Interpretation von Petri-Netzen
- Strukturierung von Petri-Netzen
- Einführung von grafischen Kurzdarstellungen für Standard-Netzstrukturen.

Die Grundlage stellt das Petri-Netz-Modell dar, das durch sein Markierungskonzept für die Beschreibung paralleler Abläufe besonders geeignet ist.
Eine algebraische Struktur $\boldsymbol{N} = \{\boldsymbol{S}, \boldsymbol{T}, \boldsymbol{F}, \boldsymbol{M}\}$ heißt markiertes Petri-Netz, wenn gilt:

a) $\boldsymbol{S} \neq \emptyset, \boldsymbol{T} \neq \emptyset$
b) $\boldsymbol{S} \cap \boldsymbol{T} = \emptyset$
c) $\boldsymbol{F} \subseteq (\boldsymbol{S} \times \boldsymbol{T}) \cup (\boldsymbol{T} \times \boldsymbol{S})$
d) $\mathrm{dom}\,(\boldsymbol{F}) \cup \mathrm{cod}\,(\boldsymbol{F}) = \boldsymbol{X}$ mit $\boldsymbol{X} = \boldsymbol{S} \cup \boldsymbol{T}$
$\mathrm{dom}\,(\boldsymbol{F}) = \{x \mid x \in \boldsymbol{X} \wedge \exists_{y \in \boldsymbol{X}} (x, y) \in \boldsymbol{F}\}$ (Vorbereich der Flußrelation)
$\mathrm{cod}\,(\boldsymbol{F}) = \{y \mid y \in \boldsymbol{X} \wedge \exists_{x \in \boldsymbol{X}} (x, y) \in \boldsymbol{F}\}$ (Nachbereich der Flußrelation)
e) $\boldsymbol{M} : \boldsymbol{S} \rightarrow \{\emptyset, 1\}$.

Dabei sind $\boldsymbol{S}$ und $\boldsymbol{T}$ die Mengen der Plätze bzw. Transitionen, $\boldsymbol{F}$ ist die Flußrelation und $\boldsymbol{M}$ die Markierung. Die Darstellung solcher Netze erfolgt in Form gerichteter, paariger Graphen, wobei die Plätze durch Kreise, die Transitionen durch Rechtecke und die Elemente der Flußrelation als Pfeile dargestellt werden. Mit $\boldsymbol{M}$ wird eine binäre Markierung der Plätze definiert. Die zu einem bestimmten Betrachtungszeitpunkt parallel markierten Plätze $(M(s) = 1)$ repräsentieren den „Gesamtzustand" des durch das Netz beschriebenen Prozesses. Jede Marke charakterisiert den Zustand eines parallelen Teilablaufes des Prozesses. Für die Markierungsänderung existiert eine Schaltregel.
Mit dem Ziel der leistungsfähigen Beschreibung binärer Steuerungen wird dieses Modell in folgender Weise erweitert:
Eine algebraische Struktur $\boldsymbol{SIPN} = \{\boldsymbol{N}, \boldsymbol{\Omega}, \boldsymbol{B}, \pi, \tau\}$ heißt steuerungstechnisch interpretiertes Petri-Netz, wenn gilt:

a) $\boldsymbol{N}$ ist ein markiertes Petri-Netz
b) $\pi : \boldsymbol{S} \rightarrow \boldsymbol{\Omega}$ mit $\boldsymbol{\Omega} = \{\omega/\omega : \{\emptyset, 1\}^{|\boldsymbol{X}|} \rightarrow \{\emptyset, 1, -\}^{|\boldsymbol{Y}|}\}$
c) $\tau \quad \boldsymbol{T} \rightarrow \boldsymbol{B}$ mit $\boldsymbol{B} = \{\beta/\beta \quad \{\emptyset, 1\}^{|\boldsymbol{X}|} \rightarrow \{\emptyset, 1\}\}$.

Den Stellen und Transitionen werden Boolesche Abbildungen als Bewertung zugeordnet. Die Notation der Bewertungen erfolgt in Form Boolescher Gleichungen, der sog. Ausgabeoperationen, in den Plätzen und Boolescher Ausdrücke als Weiterschaltbedingungen an den Transitionen. Die Ausgabeoperationen stellen die Verbindung zwischen Netz und Prozeßsignalen her, die Weiterschaltbedingungen erlauben das prozeßabhängige Schalten im Netz.
Bild 1 zeigt ein steuerungstechnisch interpretiertes Petri-Netz ($\boldsymbol{SIPN}$) [4]. Ist $S1$ markiert, so realisiert $\boldsymbol{SIPN}$ die Boolesche Funktion $y1 = x1$. Nach dem Schalten von $t1$ bei $x\emptyset = 1$ realisiert $\boldsymbol{SIPN}$ die Funktion $y1 = /x1$.
Für $x\emptyset = \emptyset$ wird durch Schalten von $t2$ die Anfangssituation wieder hergestellt.
Die Strukturierung eines Netzes in Teilnetze bildet den theoretischen Hintergrund für das SGM-Modulkonzept, das die hierarchische Gliederung der Beschreibung ermöglicht. Eine algebraische Struktur $\{\boldsymbol{Z}, \boldsymbol{K}_z\}$ heißt strukturiertes Netz zu $\boldsymbol{N} = \{\boldsymbol{S}, \boldsymbol{T}, \boldsymbol{F}, \boldsymbol{M}\}$, wenn gilt:

a) $\boldsymbol{Z}$ ist eine Überdeckung von $\boldsymbol{N}$

b) $\bigcup_{i, j=1, i \neq j}^{k} (\boldsymbol{S}_i \cap \boldsymbol{S}_j) = \emptyset$

c) $\boldsymbol{K}_z = \bigcup_{i, j=1, i \neq j}^{k} (\boldsymbol{T}_i \cap \boldsymbol{T}_j)$ (Menge der Kopplungstransitionen).

Dabei sind $\boldsymbol{S}_\nu$ bzw. $\boldsymbol{T}_\nu$ die Stellen und Transitionsmengen des Teilnetzes $\boldsymbol{N}_\nu$.

---

Dipl.-Phys. *Thomas Pfeiffer* (32) studierte von 1975 bis 1980 Physik an der Karl-Marx-Universität Leipzig. Seitdem als Entwicklungsingenieur im VEB Robotron-Rationalisierung Weimar tätig. Seit 1986 Sachgebietsverantwortlicher für Softwareentwicklung.

Dr.-Ing. *Fritz Arendt* (36) studierte nach der Berufsausbildung mit Abitur (Elektromontageschlosser) von 1972 bis 1976 an der TU Dresden Informationstechnik. Seit 1976 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Dresden. 1986 Promotion A zur Gestaltung steuerungstechnischer Programmiersprachen an der TU Dresden.

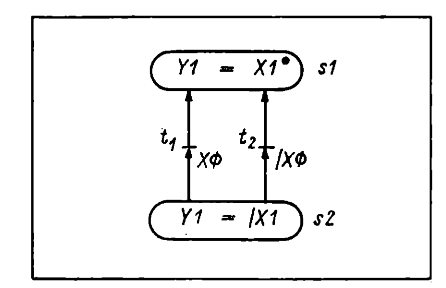



**Bild 1.** Steuerungstechnisch interpretiertes Petri-Netz

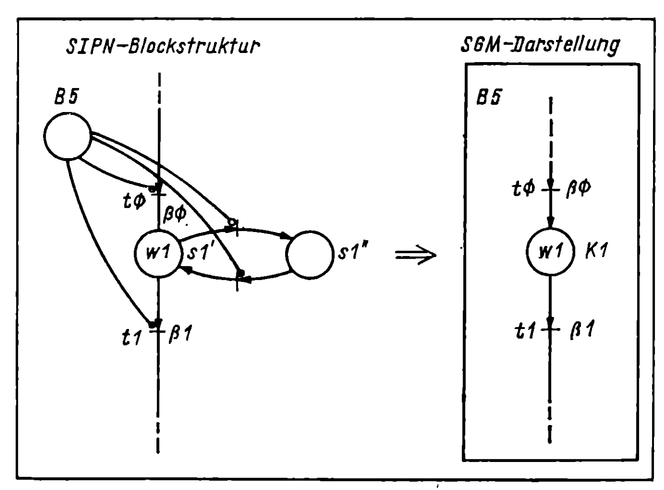



**Bild 2.** Plätze und Transitionen im Block

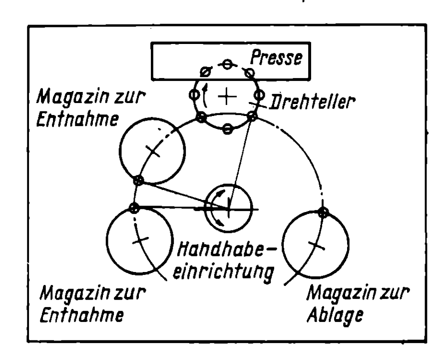



**Bild 3.** Schematische Darstellung einer Anlage des Fertigungskomplexes

Die Gestaltung der Teilnetze und ihrer Kopplungen wird bei vergleichbaren Lösungen dem Entwerfer freigestellt. Daraus ergibt sich für den Anwender ein erhöhter Entwurfsaufwand für strukturierte Netze, der in der Regel zu komplexen, unübersichtlichen Strukturen führt, denn die Gestaltung von Strukturen mit effektiver Kopplung erfordert umfangreiche Erfahrungen im Umgang mit Netzbeschreibungen.
In SGM wird für die Gestaltung der Teilnetze und ihrer Kopplungen ein leistungsfähiges und universell anwendbares Standardkonzept, das Blockprinzip, eingeführt. Bild 2 veranschaulicht die praktische Wirksamkeit des Blockprinzips am Beispiel der Funktion der Blockmarke.
Jedem Teilnetz (Block) wird eindeutig ein Platz (im Bild 2 B5) als Träger der Blockmarke so zugeordnet, daß alle Transitionen des Blockes mit diesem Platz über Testkanten verbunden sind. Jedem Platz des Teilnetzes (z. B. *s*1′) wird ein unbewerteter Hintergrundplatz (z. B. *s*1″), wie im Bild 2 angegeben, zugeordnet.
Solange B5 markiert ist, verhält sich das Teilnetz in gewohnter Weise. Wird die Marke aus B5 entfernt, so hat keine Transition zwischen den Plätzen des Teilnetzes mehr Konzession, und es erfolgt ein unbedingter Markenübergang auf die unbewerteten Hintergrundplätze (z. B. *s*1″). Die Marken werden damit bis zur erneuten Markierung von B5 „eingefroren", die Ausgabeoperation nicht mehr bearbeitet und die Transitionen gesperrt.
Auf diese Weise lassen sich unterbrechbare Teilabläufe, z. B. für Ein- und Ausschaltvorgänge, direkt programmieren.
Bild 2 zeigt einen weiteren wesentlichen Aspekt der SGM-Beschreibung. Sich häufig wiederholende Netzkonstruktionen, deren Verhalten ohne explizite Notation des vollständigen Netzes verständlich ist, heißen in SGM Standardstrukturen (z. B. Block) und werden in verkürzter grafischer Form notiert. Dadurch lassen sich Netze für umfangreiche Aufgabenstellungen entflechten und damit übersichtlicher gestalten.

Auf der Basis der dargestellten Grundgedanken ist mit SGM ein Beschreibungsmittel entwickelt worden, das die Darstellung paralleler, vertikal und horizontal gegliederter Steuerungsabläufe in kompakter und sehr übersichtlicher Form erlaubt.
Die Umsetzung von SGM erfolgt bis hin zur Inbetriebnahme vorwiegend rechnergestützt und zeichnet sich durch ein hohes Maß an Transparenz für den Anwender aus.

## 3. Anwendungsbeispiel

### *3.1. Steuerungstechnische Aufgabenstellung*

Von einer Presse sollen Kugellager in Lagerschalen eingedrückt werden. Die Zu- und Abführung der Teile zur Presse erfolgt über einen Drehteller. Mit einer Handhabeeinrichtung werden aus Magazinen Kugellager und Lagerschalen entnommen und auf dem Drehteller abgelegt. Gleichzeitig wird das fertig gepreßte Teil vom Drehteller abgenommen und in einem weiteren Magazin abgelegt. Den schematischen Aufbau zeigt Bild 3.
Zwei solche Anlagen werden von einer gemeinsamen Mikrorechnersteuerung aus gesteuert. Sie sollen gleichzeitig und unabhängig voneinander produzieren können oder im Einrichtbetrieb das Schalten aller Einzelaggregate von Hand ermöglichen. Beim Umschalten einer Anlage auf Einrichtbetrieb muß der automatische Programmablauf sofort unterbrochen werden, und ein selbständiger Wiederanlauf darf nicht möglich sein. Außerdem sollen bei Auslösung des Signals „STOP" alle dynamischen Prozeßzustände abgebrochen werden, und die jeweilige Anlage soll solange im bewegungslosen Zustand verharren, bis eine Taste „START" betätigt wird. Dem Bediener sind Fehlerzustände und Angaben über den Füllstand der Magazine mitzuteilen. Alle dynamischen Prozeßzustände sind zeitlich zu überwachen, d. h., wenn bei einer Bewegung nach einer bestimmten beliebig vorgebbaren Zeit nicht die Endlage erreicht wird, ist ein Fehler anzuzeigen.

### *3.2. Verwendete Steuerungstechnik*

Die Steuerung beider Anlagen erfolgt über eine P 6004 [5], die mit folgenden Baugruppen bestückt ist:

— 10 Digitaleingaben Optokoppler DEO K 9225.00 (je 5 für jede Anlage)
— 8 Digitalausgaben Transistor DAT K 9326.00 (je 4 für jede Anlage)
— 2 Programmierbare Festwertspeicher PFS K 3820
— 1 Operativ-Festwertspeicher OFS K 3620.

Ein EGS-Schrank beinhaltet die Stromversorgung mit Hauptschalter, Bedientastenfeld, Sicherungen, Schütze, Relais, Anwendernetzteile und Fördergeschwindigkeitsregelung für Magazine. Die Anzeige von Fehlern und deren Mitteilungen und die Bedienung der Einzelaggregate im Einrichtbetrieb wird über die Prozeßfunktionstastatur PFT K 9425 vorgenommen.

### *3.3. Darstellung des Steuerungsalgorithmus*

Die Fachsprache Steuergraph-Mikro gestattet, selbständige Einheiten des zu steuernden Prozesses in getrennten Blöcken zu notieren, die untereinander korrespondieren können. Dadurch sind parallele Prozeßabläufe einfach zu realisieren. Neben der günstigen rechentechnischen Implementierung ergibt sich eine Vereinfachung für den Entwurf und die Testung der Programme sowie eine übersichtliche Dokumentation.
Bei der Realisierung der Steuerungsaufgabe wurde das Blockprinzip genutzt, zum einen, um in der Hierarchie nebengeordnete, parallele Abläufe getrennt darzustellen, und zum anderen zur Realisierung der Unterprogrammtechnik. Teilweise besteht zwischen den Blöcken eine Kopplung bezüglich des Signalflusses. Für mehrfach auftretende Prozeßabschnitte mit gleichem Steuerungsablauf, z. B. die 4 Magazine, aus denen Teile entnommen werden, ist der Programmblock nur einmal zu erstellen. Die anderen Blöcke werden daraus abgeleitet, indem durch Substitution bzw. durch Identitätsvereinbarungen [6] die entsprechenden Variablen angepaßt werden. Folgende 18 Blöcke wurden zur Modellierung der Steuerungsaufgabe erarbeitet:

| | |
|---|---|
| Block ST1, ST2 | — Stop der jeweiligen Anlage |
| Block END1, END2 | — Einnahme einer definierten Endlage |
| Block MA1, MA2, MA4, MA5 | — Magazin, aus dem Teile entnommen werden |
| Block MA3, MA6 | — Magazin, in das Teile abgelegt werden |
| Block HM1, HM2 | — Handhabeeinrichtung |
| Block DT1, DT2 | — Drehteller |
| Block PR1, PR2 | — Presse |
| Block UDT1, UDT2 | — Unterprogramm für Drehteller. |

Am Beispiel der hydraulischen Presse soll die Modellierung eines relativ selbständigen Abschnitts der Steuerungsaufgabe als Steuergraph veranschaulicht werden.
Unter der Voraussetzung, daß der Drehteller mit Lagerschale und Kugellager exakt positioniert ist, soll sich die Presse aus der oberen Endlage im Eilgang bis zur Mittellage bewegen. Von dort erfolgt die Bewegung im Schleichgang (hydraulische Drossel zugeschaltet) bis zur unteren Endlage. Nach Erreichen des erforderlichen Einpreßdrucks bewegt sich der Stempel im Eilgang nach oben. Das Schema der Presse zeigt Bild 4.
Für die Eingabe- und Ausgabevariablen werden folgende Bezeichnungen festgelegt:

$E1$ obere Endlage der Presse; $E2$ Mittelstellung der Presse; $E3$ untere Endlage der Presse; $E4$ Einpreßdruck erreicht; $E5$ Drehteller positioniert; $E6$ Kugellager und Lagerschale vorhanden; $E7$ Taste „START"; $E8$ Schalter „Einrichtbetrieb"; $E9$ Steuerungsprozeß soll definierte Endlage einnehmen; $E10$ Taste „STOP"; $A1$ Presse nach unten; $A2$ Presse nach oben; $A3$ Drossel eingeschaltet; $A4$ Fehlermeldesignal.

Der Steuergraph für den konkreten Anwendungsfall ist im Bild 5 dargestellt. Der Knoten $K0$ „Presse Anfang" enthält die Initialmarkierung. Da beim Einschalten der Steuerung aufgrund von Spannungsausfall oder NOT-AUS-Betätigung bei Havarie nicht immer die definierte Prozeß-Ende-Situation vorliegen muß, soll die Steuerung in der Lage sein, aus jeder möglichen Prozeßsituation heraus ein fehlerfreies Anlaufen der Anlage zu ermöglichen. Die Fortschaltbedingungen $t_{0/1}$, $t_{0/2}$ und $t_{0/4}$, die sich gegenseitig ausschließen, schalten nach dem Einschalten der Anlage in Abhängigkeit vom aktuellen Prozeßzustand und verzweigen zu verschiedenen Stellen des eigentlichen Bearbeitungszyklusses (Knoten $K1$, $K2$, $K4$), wodurch ein fehlerfreier Anlauf garantiert wird.
Die Zeitglieder $T0$, $T1$ und $T2$ werden zur zeitlichen Überwachung der dynamischen Prozeßzustände verwendet. Beim Überschreiten einer vorgegebenen Zeit wird zu einem Fehlerknoten verzweigt, der den jeweiligen Fehler durch Echtzeitkommentar ausweist. Weiterhin erkennt die Steuerung das Erreichen des Einpreßdrucks außerhalb der unteren Endlage als Fehler und zeigt diesen an. Die Taste „START" dient zusätzlich zum Quittieren von Fehlermeldungen. Ihre Betätigung nach Beseitigung eines Fehlers führt zur Fortsetzung des unterbrochenen Prozesses und zur Löschung der Fehleranzeige.
Durch die Kopplung der Ausgaben und Zeitglieder mit dem Block ST (Bild 6) wird erreicht, daß nach Betätigung der Taste „STOP" die Anlage in einen bewegungslosen Zustand übergeht. Wenn im Block ST der Knoten $K0$ nicht mehr markiert ist, werden alle dynamischen Ausgaben im Block PR und auch in den weiteren Blöcken, die $= K0 \# ST$ gesetzt sind, nicht mehr erzeugt. Die Zeitglieder zur Überwachung der Dauer des Prozeßzustandes werden zurückgesetzt, um Fehlermeldungen wegen Zeitüberschreitung zu unterbinden. Betätigt man die Taste „START", erfolgt eine erneute Markierung des Knotens $K0$ im Block ST, und die Ausgaben in den anderen Blöcken werden wieder erzeugt. Der Markenfluß und damit auch der Steuerungsablauf gehen weiter.
Damit beim Umschalten auf Einrichtbetrieb der Prozeß sofort unterbrochen wird, kann der Übergang von $K0$ zu $K1$ im Block ST auch durch das Signal $E8$ erzwungen werden. Außerdem verhindert $E8$ ein Verlassen des Initialknotens $K0$ (Presse Anfang) im Block PR. Damit ist der Automatikbetrieb verriegelt. Alle weiteren Blöcke werden analog Block PR aufgebaut. Die Blöcke einer Anlage sind untereinander verkoppelt. Das geschieht meistens durch Aufruf einer Knotenvariable eines anderen Blocks in Fortschaltbedingungen oder in Operationen bzw. durch den Signalfluß der E/A-Variablen. Wird in einem der Blöcke ein Fehlerknoten aktiviert, dann geht der Markenfluß in den anderen Blöcken solange weiter, bis ein Weiterschalten aufgrund der Kopplung nicht mehr möglich ist. Beispielsweise würde bei Markierung eines Fehlerknotens im Block DT (Drehteller) der Markenfluß im Block PR unterbrochen, da $t_{1/2}$ nicht erfüllt wäre. $K1$ bliebe dann solange markiert, bis der Fehler beseitigt und der Drehteller ordnungsgemäß positioniert ist.

## 4. Umsetzung des Steuergraphen in ein SGM-Quellprogramm

Unter Beachtung der Syntaxregeln für die Sprache SGM [6] lassen sich die Steuergraphen problemlos und strukturgetreu in ein SGM-Quellprogramm umsetzen. Am Anfang eines solchen Programms werden im Definitionsteil die Speicherplatzzuordnung und die Variablen- und Parameteranzahl festgelegt. Anschließend wird der Hardwarebezug der Eingabe-/Ausgabevariablen definiert. Die Notation der Steuergraphen erfolgt nach der Identitätenliste. Die Umsetzung der im Bild 5 dargestellten Graphen der Presse führt zu einem SGM-Programmblock nach der Tafel.

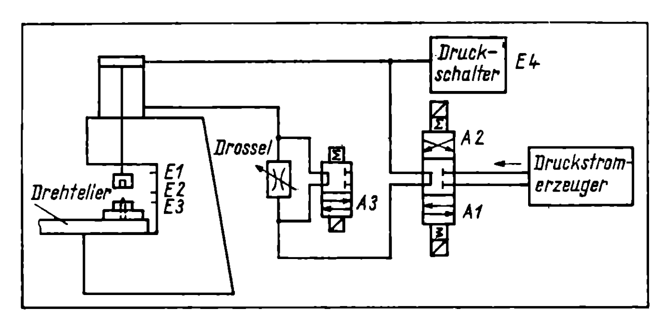



**Bild 4. Schema der Presse**

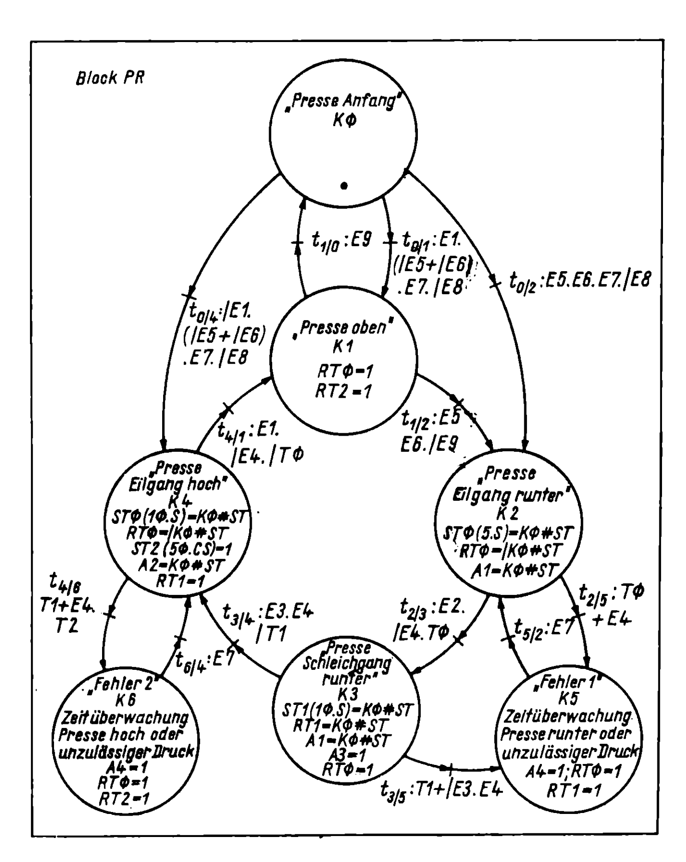



**Bild 5. Steuergraph für Block „Presse"**

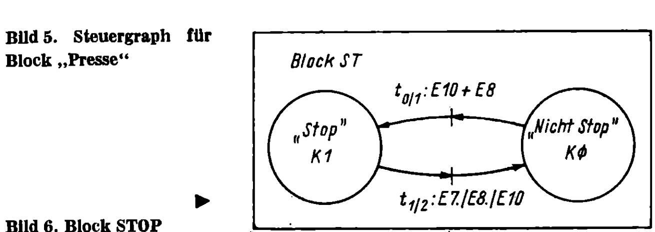



**Bild 6. Block STOP**

## 5. Übersetzung des SGM-Quellprogramms

Der Übersetzer läuft unter dem Betriebssystem MEOS und ist in [7] ausführlich beschrieben. Die Quelleingabe kann über Tastatur, Diskette, Magnetbandkassette oder Lochstreifen erfolgen. Eine Prüfung auf syntaktische Fehler wird vorgenommen. Vom SGM-Übersetzer wird eine Strukturliste erzeugt, die aus einem Dateibereich und dem SGM-Objektkode besteht. Außerdem wird die problemabhängige Größe des Arbeitsspeichers für den Interpreter ausgewiesen. Der Dateibereich enthält alle problemspezifischen Daten, Adressen und Dateien, die für den Zugriff auf den SGM-Objektkode durch den Interpreter notwendig sind.
Die Strukturliste kann vom Übersetzer auf EPROM, Diskette, Kassette oder Lochstreifen ausgegeben werden.

## 6. Inbetriebnahme des Programms

Die vom Übersetzer erzeugte Strukturliste wird durch den in der Steuerung P 6004 implementierten SGM-Interpreter zyklisch abgearbeitet. Dabei werden die im Quellprogramm beschrie-

**Tafel.** SGM-Programm für Block „Presse“

```
B PR:S                  ; Block Presse
K 0                     ; Presse Anfang
  W:E1.(/E5+/E6).E7./E8:K1;
  W:E5.E6.E7./E8:K2 ;
  W:/E1.(/E5+/E6).E7./E8:K4;
EK                      ; Knotenende
K 1                     ; Presse oben
  ORT0=1                ; Zeitglied 0 rücksetzen
  ORT2=1                ; Zeitglied 2 rücksetzen
  W:E9:K0               ;
  W:E5.E6./E9:K2        ;
EK                      ;
K 2                     ; Presse im Eilgang nach unten
  OST0(5.S)=K0#ST       ; Zeitglied 0 auf 5 s setzen,
                        ; wenn K0 im Block ST markiert ist
  ORT0=/K0#ST           ; Zeitglied 0 rücksetzen, wenn K0
                        ; im Block ST nicht markiert ist
  OA1=K0#ST             ; Magnetventil für Presse nach unten
  W:E2./E4./T0:K3       ; Mittellage erreicht
  W:T0+E4:K5            ; nach 5 s Mittellage nicht erreicht
                        ; oder Druck zu hoch
EK                      ;
K 3                     ; Presse im Schleichgang nach unten
  OST1(10.S)=K0#ST      ;
  ORT1=K0#ST            ;
  OA1=K0#ST             ;
  OA3=1                 ; hydraulische Drossel wirksam
  ORT0=1                ;
  W:E3.E4./T1:K4        ; untere Endlage und Einpreßdruck
                        ; erreicht
  W:T1+/E3.E4:K5        ; Zeitüberschreitung oder Druck
                        ; vor unterer Endlage zu hoch
EK                      ;
K 4                     ; Presse im Eilgang nach oben
  OST0(10.S)=K0#ST      ;
  ORT0=/K0#ST           ;
  OST2(50.CS)=1         ;
  ORT1=1                ;
  OA2=K0#ST             ; Presse nach oben
  W:E1./E4./T0:K1       ; obere Endlage erreicht
  W:T1+E4.T2:K6         ; Zeitüberwachung oder unzulässig hoher Druck
EK                      ;
K 5                     ; Fehler 1
  CZeitüberwachung        Presse nach unten oder unzulässiger Druck;
                        ; Echtzeitkommentar
  OA4=1                 ; Fehlermeldesignal
  ORT0=1                ;
  ORT1=1                ;
  W:E7:K2               ; Taste „Start“ betätigt
EK                      ;
K 6                     ; Fehler 2
  CZeitüberwachung        Presse nach oben oder unzulässiger Druck;
  OA4=1                 ;
  ORT0=1                ;
  ORT2=1                ;
  W:E7:K4               ;
  EK                    ;
EB                      ; Blockende
ABBPR,.....             ; Anfangsinitialisierung Blöcke
AKK0#PR,.....           ; Anfangsinitialisierung Knoten
```

benen Aktivitäten realisiert. Der SGM-Interpreter und die Strukturliste sind in der Steuerung auf ROM abgelegt und somit nach dem Einschalten sofort verfügbar. Die SGM-Testhilfen [8] gestatten es, den Markenfluß durch die Knoten der einzelnen Blöcke auf dem Bildschirm zu verfolgen. Weiterhin können die aktuellen Belegungen der Eingabe-, Ausgabe-, Merker- und Zeitvariablen angezeigt werden. Sollten Fehler bei der Inbetriebnahme des SGM-Programms auftreten, kann der Programmierer in der Regel durch die Bildschirmdarstellung des Markenflusses leicht ermitteln, ab welchem Knoten Abweichungen vom geplanten Steuerungsablauf eintreten. Durch die übersichtliche Darstellung in Steuergraphen und durch die Kenntnis der Variablenbelegung (Bildschirmanzeige) beim Auftreten des Fehlers läßt sich bei genauer Betrachtung des ermittelten Knotens sowie seiner hin- und weiterführenden Fortschaltbedingungen der Fehler leicht feststellen.

Die SGM-Testhilfen stellen für den Programmierer ein komfortables Hilfsmittel dar, das sich auch bei Reparaturen gut bewährt hat.

Die Zykluszeit für einen Interpreterdurchlauf ist abhängig vom Umfang und der Anzahl der momentan markierten Knoten. Es wurden Werte von 20 ... 60 ms gemessen. Zeitkritische Vorgänge wurden durch Interruptroutinen realisiert.

## Zusammenfassung


Durch den Einsatz der Fachsprache Steuergraph-Mikro verringert sich für den Anwender der Aufwand für die Steuerungsproblembeschreibung und deren Umsetzung in ein Mikrorechnerprogramm gegenüber einem in Assembler oder in einer verknüpfungsorientierten Sprache geschriebenem Programm erheblich. Auch bei der Programminbetriebnahme und bei späteren Instandsetzungen wird eine deutliche Zeiteinsparung erreicht. SGM ordnet sich in den durch Funktionsplan und GRAPH 5 [11] gekennzeichneten internationalen Stand ein. Es zeichnet sich gegenüber beiden Beschreibungsmitteln durch sein leistungsfähiges Blockkonzept aus, das den einfachen Entwurf hierarchisch strukturierter Netze erlaubt. Die Bearbeitung zeitkritischer Vorgänge ist durch die Benutzung von Prozeduren oder durch die Ergänzung des Programms mit zusätzlichen Interruptroutinen möglich. Besonders geeignet ist SGM für die Realisierung paralleler Vorgänge.


## Literatur


[1] *Zander, H. J.:* Zur Situation auf dem Gebiet des Entwurfs von Binärsteuerungen. msr, Berlin 27 (1984) 8, S. 341–347.

[2] *König, R.:* Petri-Netze und ihre Verwendung zum standardisierten Entwurf digitaler Steuerungen. Forschungsbericht, ZKI der AdW, IT Dresden, 1980.

[3] *Despang, G.:* Problemorientierte Programmierung von Mikrorechnern auf der Grundlage von Steuergraphen. Dissertation A, TU Dresden, Fakultät Elektrotechnik/Elektronik, 1982.

[4] *Arendt, F.:* Untersuchungen zur Gestaltung von modernen steuerungstechnischen Programmiersprachen und ihrer rechentechnischen Umsetzung auf der Grundlage von Betriebssystemen am Beispiel der Fachsprache K 1520-SGM. Dissertation A, TU Dresden, Fakultät Elektrotechnik/Elektronik, 1986.

[5] Robotron-Autorenkollektiv: Betriebsdokumentation Modulare Steuerung P 600X. Dokumentationsnummer 1.87.062000.6/97.

[6] Robotron-Autorenkollektiv: Sprachbeschreibung Steuergraph-Mikro (SGM) für das Steuerprogrammsystem SPS 6000. Systemunterlagen-Dokumentation H0106-0005-0 M0130.

[7] Robotron-Autorenkollektiv: Steuergraph-Mikro-Übersetzer für das Betriebssystem MEOS 1521 (MRES A 5601). Systemunterlagen-Dokumentation H0103-0007-0 M0130.

[8] Robotron-Autorenkollektiv: Steuergraph-Mikro-Testhilfen für das Steuerprogrammsystem SPS 6000. Systemunterlagen-Dokumentation H0103-0008-0 M0130.

[9] *Brich, P.; Gerber, S.; Otto, H. P.:* Programmierung von Ablaufsteuerungen im Automatisierungssystem SIMATIC S5. Siemens Energietechnik 6 (1984) 2, S. 56–67.

[10] VDI-Richtlinie 2880, Bl. 4, 9/84.

[11] *Groetsch, E.:* Graphische Programmieroberflächen für Steuerungssysteme. Automatisierungstechnische Praxis 28 (1986) 1, S. 27–31. msr 8568



(Fortsetzung von Seite 212)


## Literatur


[1] *Rudolf, D.:* Industrielle Steuerung robotron P 6000: Robust, modular und K 1520-kompatibel. NTB, Berlin 28 (1984) 6, S. 161–163.

[2] *Rudolf, D.:* Prozeßein- und Prozeßausgabebaugruppen für das Steuerungssystem P 6000. rfe, Berlin 35 (1986) 1, S. 43 und 44.

[3] Robotron-Autorenkollektiv: Verzeichnis der Anwenderdokumente Steuerprogrammsystem SPS 6000. Systemunterlagen-Dokumentation C0101-0001-0 M0130.

[4] Robotron-Autorenkollektiv: Anwendungsbeschreibung Steuerprogrammsystem SPS 6000 – MOS –. Systemunterlagen-Dokumentation C0102-0002-0 M0130.

[5] Robotron-Autorenkollektiv: Anleitung für Programmierer/Systemprogrammierer Steuerprogrammsystem SPS 6000. Systemunterlagen-Dokumentation C0104-0003-0 M0130.

[6] Robotron-Autorenkollektiv: Anwendungsbeschreibung Steuerprogrammsystem SPS 6000 – POS –. Systemunterlagen-Dokumentation H0102-0004-0 M0130.

[7] Robotron-Autorenkollektiv: Sprachbeschreibung Steuergraph-Mikro (SGM) für das Steuerprogrammsystem SPS 6000. Systemunterlagen-Dokumentation H0106-0005-0 M0130.

[8] Robotron-Autorenkollektiv: Steuergraph-Mikro-Interpreter für das Steuerprogrammsystem SPS 6000. Systemunterlagen-Dokumentation H0103-0006-0 M0130.

[9] Robotron-Autorenkollektiv: Steuergraph-Mikro-Übersetzer für das Betriebssystem MEOS 1521 (MRES A 5601). Systemunterlagen-Dokumentation H0103-0007-0 M0130.

[10] Robotron-Autorenkollektiv: Steuergraph-Mikro-Testhilfen für das Steuerprogrammsystem SPS 6000. Systemunterlagen-Dokumentation H0103-0008-0 M0130.

[11] *Arendt, F.:* Untersuchungen zur Gestaltung von modernen steuerungstechnischen Programmiersprachen und ihrer rechentechnischen Umsetzung auf der Grundlage von Betriebssystemen am Beispiel der Fachsprache K 1520-SGM. Dissertation, TU Dresden 1985. msr 8567

*A. Schönitz*

# Steuerprogramm Analogeingabe SPAE 9226 für die analoge Eingabebaugruppe AEE K 9226

## 0. Einleitung

Das Steuerprogramm SPAE 9226 bildet die Softwaregrundlage für die analoge Eingabebaugruppe AEE K 9226 im Steuerungssystem P 600X. Aufgrund der K 1520-Kompatibilität ist das zugrunde liegende Konzept der Kommunikation zwischen einer Baugruppe mit interner CPU und einer übergeordneten Steuerungskonfiguration breit anwendbar.

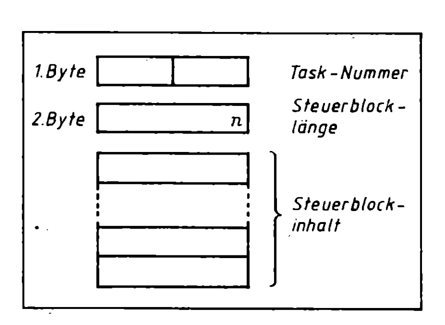



**Bild 1. Aufbau eines Steuerblocks**

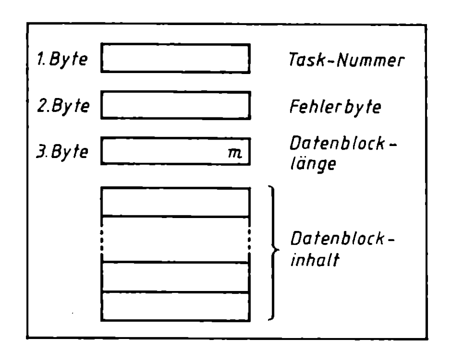



**Bild 2. Aufbau eines Datenblocks**

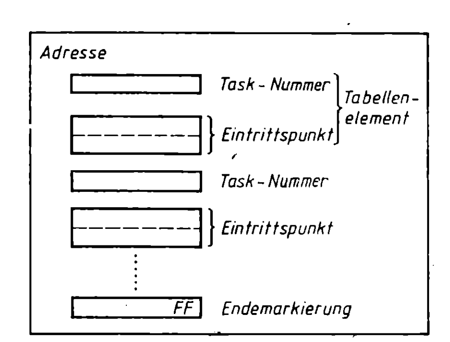



**Bild 3. Aufbau der Taskadresstabelle**

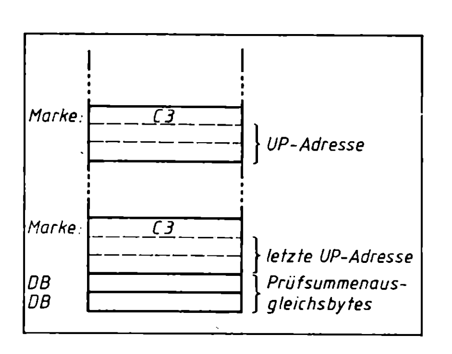



**Bild 4. Aufbau der UP-Sprungtabelle**

## 1. Gerätetechnischer Bezug

Die AEE K 9226 [1] und [2] stellt aus der Sicht des Programmierers nichts anderes als einen 1 Kbyte-RAM-Bereich dar, der insgesamt lesbar, jedoch nur in der unteren Adressraumhälfte beschreibbar ist.
Über dieses 2-Tor-RAM erfolgt die Kommunikation zwischen der internen CPU und der CPU der zentralen Recheneinheit. Die Baugruppe ist voll K-1520-kompatibel und im gesamten Adressbereich adressierbar.

## 2. Softwarekonzept

Das Steuerprogramm SPAE 9226 ist als zentrale Warteschleife ausgelegt, aus der heraus Anforderungen der übergeordneten Zentralen Recheneinheit bedient werden. Die Anforderungen bestehen darin, verschiedene Aufgaben (Tasks) abarbeiten zu lassen und das Ergebnis der Abarbeitung bereit zu stellen. Zu diesem Zweck ist der Kommunikationsbereich der AEE K 9226 in

- einen Organisationsbereich
- zwei gleichgroße Steuerblockbereiche SBB1 und SBB2
- zwei gleichgroße Datenblockbereiche DBB1 und DBB2

untergliedert.
Der Organisationsbereich gliedert sich dabei weiterhin in

- Steuerblock-Flagbyte FBS mit den Flags: Steuerblockfertigflag SFF und Steuerblocksofortflag SSF
- Datenblock-Flagbyte FDB mit den Flags: Datenblockfertigflag DFF und Datenblocksofortflag DSF
- Steuerblockbereichszeiger SBZI für die CPU der AEE K 9226
- Steuerblockbereichszeiger SBZE für das übergeordnete Steuerungssystem
- Datenblockbereichszeiger DBZI für die CPU der AEE K 9226
- Datenblockbereichszeiger DBZE für das übergeordnete Steuerungssystem.

Die **Kommunikation** zwischen interner CPU und externer CPU erfolgt auf der Grundlage folgender Festlegungen:

- Das übergeordnete Steuerungssystem erteilt der AEE K 9226 den Auftrag zur Abarbeitung einer Task, indem sie in den ihr aktuell zugewiesenen Steuerblockbereich einen entsprechen-

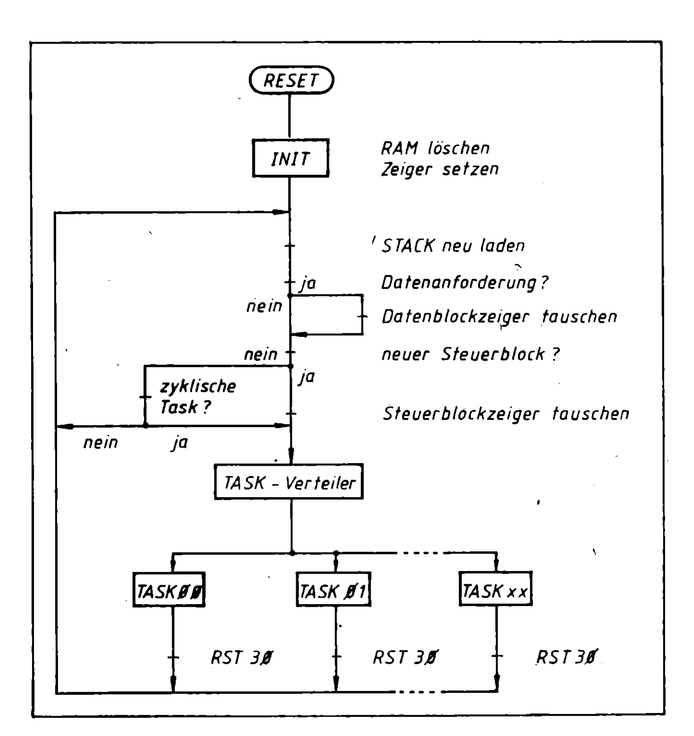



**Bild 5. Programmablaufplan SPAE 9226**

---

Ing. *Alexander Schönitz* (27) studierte von 1979 bis 1982 an der Ingenieurschule für Elektronik und Informationsverarbeitung „Friedrich Engels" Görlitz Industrielle Elektronik. Seitdem als Entwicklungsingenieur im VEB Robotron-Rationalisierung Weimar tätig.

den Steuerblock einträgt und diesen durch Setzen des Steuerblock-Flagbytes für gültig erklärt.
- Mit dem Setzen des Steuerblock-Flagbytes erlischt für das übergeordnete Steuersystem die Zugriffsberechtigung auf den Steuerblockbereich.
- Stellt die interne CPU fest, daß ein neuer Steuerblock gültig gemacht wurde, übernimmt sie diesen durch Austauschen von internem und externem Steuerblockzeiger und löscht das Steuerblock-Flagbyte. Damit wird für die übergeordneten Steuersysteme die Zugriffsberechtigung auf den Steuerblockbereich wiederhergestellt.

Im Steuerblock- bzw. Datenblock-Flagbyte wird jeweils zwischen den Fertigflags SFF bzw. DFF und den Sofortflags SSF bzw. DSF unterschieden. Während die Fertigflags jeweils nach Abschluß der Task bzw. im dynamischen Stop der internen CPU ausgewertet werden, können die Sofortflags SSF und DSF während der Bearbeitung einer Task ausgewertet und zum Abbruch der Task und zur Übernahme eines neuen Steuerblocks bzw. zur Übergabe eines Datenblocks im aktuellen Bearbeitungsstand verwendet werden.

Das Setzen des Sofortflags DSF zwecks Datenbereitstellung wird von der CPU der AEE K 9226 durch Duplizieren ihres aktuellen Datenblocks in den Datenblockbereich des übergeordneten Steuerungssystems bedient, um das „Zerstücken" von Datenblöcken zu vermeiden. Die Bedienung einer DSF-Anforderung erfordert demzufolge mehr CPU-Zeit als die einer DFF-Anforderung. Das Steuerprogramm SPAE 9226 enthält die Standardtasks

- TASK Ø Einstellung Steuerwort DAC
- TASK 1 Prüfsummenberechnung (EDC-Rest)
- TASK 2 RAM-Test

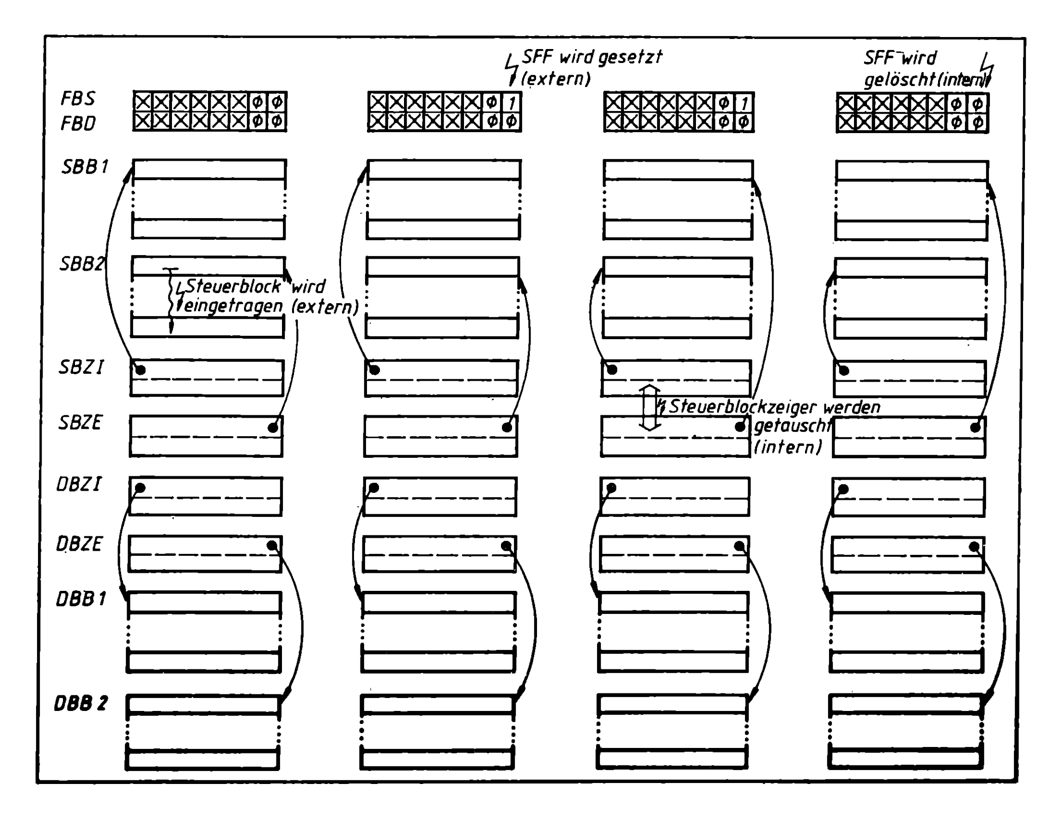



**Bild 6.** Aktivitäten bei Übermittlung eines Steuerblocks

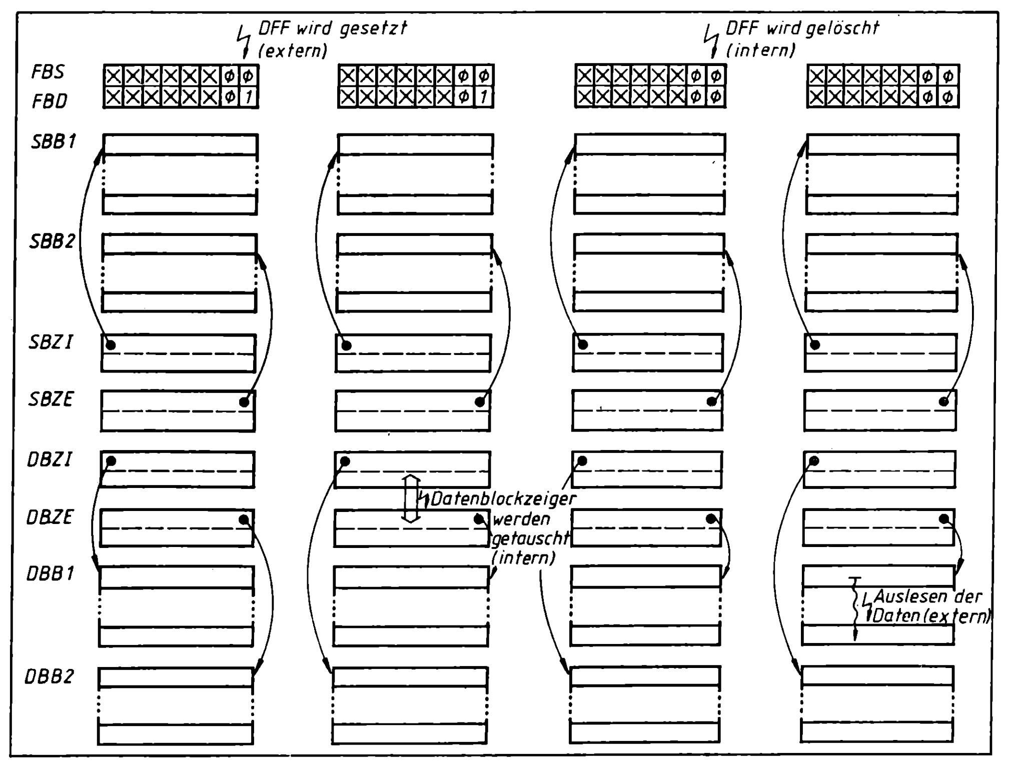



**Bild 7.** Aktivitäten bei Übermittlung eines Datenblocks

– TASK 3 Wandlungs- und Komparatortask
– TASK 4 Bedingte Wandlungs- und Komparatortask

und die Unterprogramme

– RAMCL RAM-Bereich mit einer Konstanten füllen
– DBSEX Datensofortabruf bedienen
– WAND Wandlerprogramm.

Der Anwender darf beliebige Task eigener Entwicklung in das Tasksystem einbeziehen. Die Vorschriften für das Einbinden anwendereigener Tasks sind [3] zu entnehmen.
**Steuerblock** (Bild 1) und **Datenblock** (Bild 2) haben einen einheitlichen Aufbau. Der Inhalt des Steuerblocks und des Datenblocks ist taskspezifisch und der Anleitung für Programmierer/Systemprogrammierer [3] zu entnehmen.

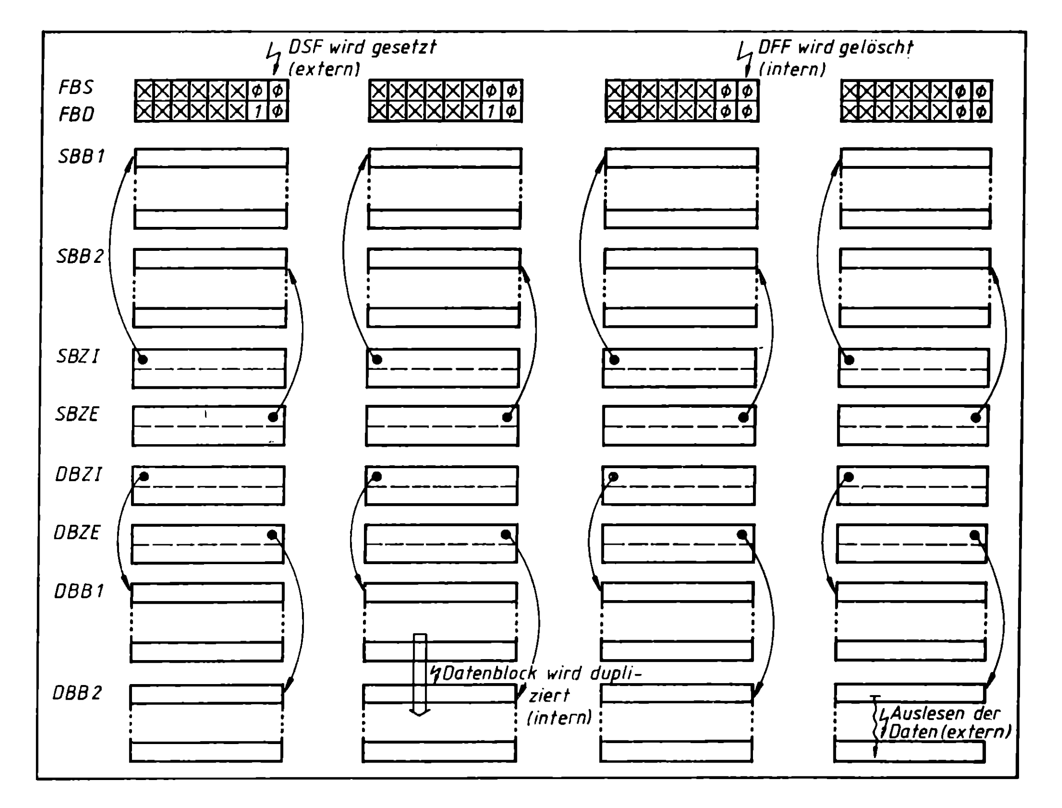



**Bild 8. Aktivitäten bei Übermittlung eines Datenblocks (Anforderung über DSF)**

Die **Taskadresstabelle** (Bild 3) beinhaltet die Eintrittspunkte der Taskroutinen in Zuordnung zur Tasknummer. Sie ist nach oben offen, so daß Anwendertasks angefügt werden können. Den Abschluß bildet eine Endekennung.
Die **UP-Sprungtabelle** (Bild 4) ist eine Auflistung von UP-Eintrittspunkten und dient der Freimachung der Anwenderroutinen von Adressverschiebungen im Softwaregrundpaket bei notwendigen Korrekturen. Sie kann, soweit das die Belegung des Speichers zuläßt, nach fallenden Adressen hin durch Anwender-UP-Eintrittspunkte ergänzt werden. Ein direkter Aufruf der Unterprogramme (UP) ohne Nutzung der UP-Eintrittspunkttabelle ist ebenfalls möglich.

## 3. Programmablauf des Steuerprogramms SPAE 9226

Das SPAE 9226 ist als zyklische Warteschleife ausgelegt, von der aus über einen Taskverteiler in die jeweilige Taskroutine gesprungen wird. Nach Beendigung der Taskroutine wird die Task in jedem Fall mit einem RST30H-Befehl verlassen und gelangt dadurch in die Grundschleife zurück.
Die Bilder 6 bis 8 veranschaulichen die Aktivitäten der internen CPU und des übergeordneten Steuerungssystems bei der Übermittlung von Steuer- und Datenblöcken.

## Zusammenfassung

Mit dem Steuerprogramm Analogeingabe SPAE 9226 wurde ein erweiterungsfähiges Konzept der Kommunikation einer autonom arbeitenden Prozeßsignaleingabebaugruppe mit einer übergeordneten Steuerungskonfiguration entwickelt und realisiert. Im konkreten Fall ist der Anwender in die Lage versetzt, durch die Einbindung eigener Software Datenkonvertierung und Primärdatenverarbeitung in die AEE K 9226 zu verlagern und die CPU der übergeordneten Steuerungskonfiguration von rechenzeitaufwendigen Prozessen zu befreien.
Das zugrunde liegende Kommunikationskonzept kann selbstverständlich universeller genutzt werden und ist für die Anwendung in Verbindung mit weiteren Prozeßeingabe-/-ausgabebaugruppen mit interner CPU vorgesehen.

## Literatur

[1] Robotron-Autorenkollektiv: Betriebsdokumentation Analogeingabe elektronisch AEE K 9226.
[2] *Rudolf, D.*: Prozeßein- und Prozeßausgabebaugruppen für das Steuerungssystem P 6000. rfe, Berlin 35 (1986) 1, S. 43 und 44.
[3] Robotron-Autorenkollektiv: Anleitung für den Programmierer/Systemprogrammierer für das Steuerprogramm Analogeingabe elektronisch SPAE 9226 C0104-0009-0 M0230.
msr 8566

# Bibliographische Recherchen des Amtes für Erfindungs- und Patentwesen der DDR

Jeder in Forschung und Entwicklung tätige Kader hat die Pflicht, seine eigenen Leistungen konsequent am Weltstand zu messen und die Trends künftiger Entwicklungen zu erkennen. Dazu ist die gründliche Auswertung aller zugänglichen Informationen über neueste Forschungsergebnisse und die Entwicklung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts eine wichtige Voraussetzung. Die Patentinformation hat dabei eine besondere Bedeutung, weil sie mit nahezu einem Drittel den größten Anteil an den Publikationen in Wissenschaft und Technik hat. Nur etwa 10 bis 20% des in der Patentliteratur vorhandenen Wissens wird auch in anderen wissenschaftlich-technischen Quellen nachgewiesen. Patentschriften sind die frühesten praxisbezogenen Veröffentlichungen zu neuen technischen Lösungen und enthalten immer auch eine Bewertung des Standes der Technik.
Die Patentliteratur umfassend und systematisch für ein hohes Niveau in Forschung und Entwicklung zu nutzen, muß für alle Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker zum ständigen Rüstzeug gehören. Für die Kombinate und Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen der DDR steht dafür eine leistungsfähige Patentinformation zur Verfügung, die fachspezifische und regionale Dienste sowie ein breites Spektrum an Leistungen des Amtes für Erfindungs- und Patentwesen der DDR (AfEP) umfaßt. Eine wichtige Komponente dabei sind die von Fachleuten im Amt für Erfindungs- und Patentwesen in der Patentliteratur von mehr als 30 Staaten durchgeführten bibliographischen Recherchen.
Diese Recherchen sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Vertiefung der bei Recherchen zum Stand der Technik erworbenen Kenntnisse. Bibliographische Recherchen können sowohl im Prozeß der Erarbeitung von Aufgabenstellungen als auch im Prozeß der Realisierung von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben effektiv eingesetzt werden. Durch bibliographische Recherchen ist die weltweite Ermittlung aller oder einzelner Schutzrechte möglich, die die als Ausgangsinformation genutzten bibliographischen Daten enthalten. Die für bibliographische Recherchen in der DDR zur Verfügung stehenden Fonds sind umfangreicher als die Fonds für thematische Recherchen. Die Auswertung der bibliographischen Daten wird wegen des standardisierten Aufbaus der Patentblätter durch keine Sprachbarriere eingeschränkt. Weiterhin wird die Qualität der Rechercheergebnisse nicht durch die unterschiedliche Anwendung der Int. Cl. (Internationale Patentklassifikation) in verschiedenen Staaten beeinträchtigt. Bibliographische Recherchen können die Durchführung von thematischen Recherchen wirksam ergänzen und durch eine optimale Verknüpfung rationalisieren, haben aber auch als eigenständige Auswertungsform für die Erschließung des Wissens aus Patenten eine wachsende Bedeutung.
In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung wird bei bibliographischen Recherchen zwischen Namens-, Analog- und Rechtsbestandsrecherchen unterschieden.

**Namensrecherchen**

Namensrecherchen sind Recherchen zur Ermittlung der veröffentlichten Erfindungsschutzrechte bekannter Anmelder, Inhaber oder Erfinder. Ausgangspunkte für Namensrecherchen sind

- die amtlichen Bezeichnungen von Anmeldern/Inhabern/Erfindern
- die Festlegung der Rechercheländer und des Recherchezeitraumes.

Es kann sich hierbei um die Ermittlung sämtlicher Erfindungsschutzrechte handeln oder um die eines bestimmten Sachgebietes. In diesem Fall ist eine Eingrenzung der Recherche durch Angabe der relevanten Ordnungseinheiten der Internationalen Patentklassifikation erforderlich. Namensrecherchen geben die Möglichkeit, eine Übersicht über die Schutzrechte interessierender Konzerne, Betriebe oder Forschungseinrichtungen zu erhalten und sich damit über deren neueste wissenschaftlich-technische Entwicklungen und deren schutzrechtliche Sicherung zu informieren.
Im Rahmen von Namensrecherchen können auch neue Erfindungsschutzrechte ermittelt werden, über die in der Fachpresse, in Messekatalogen oder Werbeschriften berichtet wurde. Namensrecherchen sind auch geeignet für die Durchführung von Firmenvergleichen bezüglich der Erfindungsergiebigkeit oder für Recherchen zur Ermittlung technischer Entwicklungstendenzen anhand der veröffentlichten Schutzrechte zu den Erfindungen der Marktführer oder bekannter Spezialisten.

**Analogrecherchen**

Analogrecherchen sind Recherchen zur Ermittlung der Schutzrechte, die, ausgehend von einer Erstanmeldung, in weiteren Ländern unter Inanspruchnahme der Unionspriorität angemeldet werden. Die Unionspriorität wird entsprechend der Pariser Verbandsübereinkunft für ein Jahr gewährt. Ihre Inanspruchnahme ist auf den Erfindungsbeschreibungen und in den patentamtlichen Bekanntmachungen verzeichnet. Bei der Analogrecherche werden auch korrespondierende Schutzrechte ermittelt. Das sind Schutzrechte, die ohne Inanspruchnahme einer Unionspriorität für dieselbe Erfindung in weiteren Ländern angemeldet wurden. Grundlage der Recherche sind in diesen Fällen die Angaben über Anmelder, Inhaber, Erfinder, Klassifikation und Titel. Auch Zeichnungen, Tabellen und Formeln werden zum Vergleich der Erfindungsbeschreibungen herangezogen. Recherchen zu korrespondierenden Schutzrechten werden in den Patentblättern der zu recherchierenden Staaten durchgeführt.
Die Kenntnis über den territorialen Schutzumfang von Erfindungen ist unbedingte Voraussetzung dafür, daß bei Exporten in die betreffenden Länder keine Verletzung fremder Schutzrechte erfolgt. Analogrecherchen können auch kombiniert mit Rechtsbestandsrecherchen zur Vorbereitung von Lizenzverhandlungen dienen. Der Nachweis, daß für den Lizenzgegenstand in den interessierenden Ländern keine gültigen Schutzrechte bestehen, kann Lizenzverhandlungen maßgeblich beeinflussen. Durch Analogrecherchen lassen sich die erfinderischen Aktivitäten und marktpolitischen Absichten von Anmeldern/Inhabern störender Schutzrechte durch Feststellung der Staaten, in denen Patentanmeldungen getätigt werden, nachweisen.
Mit diesen Recherchen können auch sprachlich leichter erschließbare analoge Erfindungsbeschreibungen rationell ermittelt und dadurch Übersetzungsleistungen eingespart werden.

**Rechtsbestandsrecherchen**

Rechtsbestandsrecherchen sind Recherchen zur Untersuchung, inwieweit rechtserhebliche Angaben, die von einem Schutzrecht bekannt sind, noch gelten bzw. wie sich der Rechtsbestand des Schutzrechtes verändert hat. Ausgangspunkte für Rechtsbestandsrecherchen sind die für die Ermittlung eines Erfindungsschutzrechtes erforderlichen bibliographischen Daten (Publikationsland, -nummer, -tag, Int. Cl.).
Ablauf und Zielstellung der Recherche sind davon abhängig, ob es sich bei dem zu recherchierenden Schutzrecht um eine Anmeldung oder um ein bereits erteiltes Patent handelt. Änderungen am Rechtsbestand können z. B. Erledigungen bzw. Löschungen bei Nichtzahlung der Jahresgebühren, Einschränkungen des Schutzumfanges, Zurückweisungen, Verzichte oder Änderungen des Namens des Anmelders oder Inhabers sein.
Rechtsbestandsrecherchen sind von besonderer Bedeutung für die Nachnutzung von erfindungsgemäßen Lösungen. Erfindungen, für die kein gültiges Schutzrecht mehr besteht, gehören zum freien Stand der Technik und stehen damit der Öffentlichkeit zur kostenlosen Nachnutzung zur Verfügung. Für die die eigene Entwicklung störenden Schutzrechte, die noch rechtsgültig sind oder gegen die Einsprüche geltend gemacht werden sollen, empfiehlt sich die fortlaufende Überwachung der Entwicklung des Rechtsbestandes.
Rechtsbestandsrecherchen sind auch in Zusammenhang mit der Gewährleistung der Rechtsmängelfreiheit (Verletzungsrecherchen) sowie für Lizenznahmen von Bedeutung.

**Auftragserteilung**

Das AfEP übernimmt weltweite bibliographische Recherchen. Die Retrospektivität ist in Abhängigkeit von den im Amt zur

Verfügung stehenden Fonds differenziert. Zusammen mit dem Rechercheergebnis wird eine detaillierte Übersicht über die ausgewertete Literatur übergeben.
Bibliographische Recherchen werden vom AfEP in den Auftragsvarianten Einzel-, Dauer- und Überwachungsauftrag durchgeführt (vgl. „der neuerer" 01 '75 B, S. 11–13).
**Einzelaufträge** sind Grundrecherchen. Sie lösen eine einmalige Bearbeitung aus und umfassen stets einen retrospektiven Zeitraum.
**Daueraufträge** dienen der periodischen Ermittlung von Schutzrechten oder deren Änderungen. Sie umfassen einen perspektivischen Zeitraum.
**Überwachungsaufträge** sind auf eine fortlaufende Bearbeitung gerichtet. Sie dienen der ständigen kurzfristigen Überwachung der Veröffentlichungen von Schutzrechten oder von deren Änderungen. Die Recherche erfolgt jeweils unverzüglich nach Eingang eines neuen Patentblattes im AfEP. Zur Ermittlung von Änderungen im Rechtsbestand von Schutzrechten im Zusammenhang mit der Wahrnehmung von Einspruchsfristen ist diese Auftragsform am besten geeignet.
Die Auftragserteilung erfolgt auf dem vom AfEP zu beziehenden Auftragsformular „Antrag zur Durchführung von Recherchen nach bibliographischen Daten" oder mit einem formlosen Antrag an die Adresse:

Amt für Erfindungs- und Patentwesen der DDR
HA Information und Dokumentation
Zentrales Auftragsbüro
Mohrenstraße 37b
Berlin
1080

In dringenden Fällen ist auch eine fernmündliche Auftragserteilung möglich.
Die Bearbeitung der Aufträge erfolgt grundsätzlich innerhalb von 20 Arbeitstagen, bei Eilaufträgen innerhalb von 10 Arbeitstagen, gerechnet vom Tag des Eingangs des Auftrages beim AfEP.
Die Berechnung der Gebühren erfolgt auf der Grundlage der „Bekanntmachungen über die Gebühren des im Amt für Erfindungs- und Patentwesen bestehenden Informations- und Recherchezentrums vom 1. Januar 1976", veröffentlicht im Mitteilungsblatt des AfEP, Nr. 12/1975.
Rückfragen sind zu richten an das Amt für Erfindungs- und Patentwesen der DDR, Abt. Information und Recherche, Kolln. *Stegemann*, Telefon: 2342206, oder an das Zentrale Auftragsbüro, Kolln. *Kindervater*, Telefon: 23 34950.

msr 8608 *J. Zimdars*, AfEP

# Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit von k-aus-n-Systemen

## 0. Einleitung

Es sei $z = (z_1 \dots z_n)$ der Zustandsvektor des Systems. Dabei bedeutet $z_i = 1(0)$, daß das $i$-te Element intakt (ausgefallen) ist. Die Strukturfunktion des $k$-aus-$n$-Systems $g(z)$ [1] ist durch $g(z) = I(\sum_{i=1}^{n} z_i \geqq k)$, mit $I(\dots)$ als Indikatorfunktion gegeben [3].
Es existieren verschiedene Algorithmen zur exakten Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit derartiger Systeme [2] [7] und [8]. Erwähnt werden soll auch die Möglichkeit der Simulation [9]. Im Abschn. 1. wird ein Algorithmus unter Verwendung von Matrizen angegeben, der eine gleichzeitige Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit von $j$-aus-$n$-Systemen ($j = 1, \dots, k$) erlaubt.
Eine weitere Berechnungsmethode wird im Abschn. 2. vorgeschlagen. Sie stützt sich auf einen Grenzwertsatz für $n \to \infty$, $k \to \infty$, wobei $k/n \to \lambda$, $0 < \lambda < 1$, geht. Die Rechenzeit steigt bei dieser Methode linear mit zunehmender Systemgröße, bei den exakten Methoden [2] [7] [8] und [12] steigt sie mindestens quadratisch.

## 1. Simultane Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten von $j$-aus-$n$-Systemen, $j = 1, 2, \dots, k$

Es sei $P(n, k, \boldsymbol{p})$ die Wahrscheinlichkeit für den Ausfall eines $k$-aus-$n$:G-Systems. Dabei ist $\boldsymbol{p} = (p_1 \dots p_n)$ der Vektor der Ausfallwahrscheinlichkeit der Elemente. Es gilt

$$\left.\begin{aligned} P(n, k, \boldsymbol{p}) &= 1 - P(n, n - k + 1, \bar{\boldsymbol{p}})\,, \\ \bar{\boldsymbol{p}} &= (1 - p_1, 1 - p_2 \dots 1 - p_n)\,, \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

$$P(n, k) = p_n P(n - 1, k) + \bar{p}_n P(n, k - 1)\,, \tag{2}$$

$$P(n, 0) = 0\,, \tag{3}$$

$$P(n, k) = 1 \quad \text{für} \quad k > n\,. \tag{4}$$

Durch Anwendung von (1) kann erreicht werden, daß immer $k < (n + 1)/2$ gilt. Durch die Rekursionsgleichung (2) kann $P(n, k)$ auf die offensichtlichen Fälle (3) und (4) zurückgeführt werden. Das ist der Algorithmus von *Barlow* und *Heidtmann* [2]. Das folgende Schema gibt den Berechnungsalgorithmus für die Matrix der $P(n, k)$ an:

| | 0 | 1 | 2 | … | $k-2$ | $k-1$ | $k$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 1 | … | 1 | 1 | 1 |
| | ↘ | ↓↘ | ↓↘ | | ↓↘ | ↓↘ | ↓ |
| 1 | 0 | $P(1,1)$ | 1 | … | 1 | 1 | 1 |
| | ↘ | ↓ ↘ | ↓↘ | | ↓↘ | ↓↘ | ↓ |
| 2 | 0 | $P(2,1)$ | $P(2,2)$ | … | 1 | 1 | 1 |
| | ↘ | ↓ ↘ | ↓ ↘ | | ↓↘ | ↓↘ | ↓ |
| . | . | . | . | … | . | . | . |
| . | . | . | . | … | . | . | . |
| . | . | . | . | … | . | . | . |
| | ↘ | ↓ ↘ | ↓ | | ↓ ↘ | ↓ ↘ | ↓ |
| $n-2$ | 0 | $P(n-2,1)$ | $P(n-2,2)$ | … | $P(n-2,k-2)$ | $P(n-2,k-1)$ | $P(n-2,k)$ |
| | ↘ | ↓ ↘ | ↓ | | ↓ ↘ | ↓ ↘ | ↓ |
| $n-1$ | 0 | $P(n-1,1)$ | $P(n-1,2)$ | … | $P(n-1,k-2)$ | $P(n-1,k-1)$ | $P(n-1,k)$ |
| | ↘ | ↓ ↘ | ↓ | | ↓ ↘ | ↓ ↘ | ↓ |
| $n$ | 0 | $P(n,1)$ | $P(n,2)$ | … | $P(n,k-2)$ | $P(n,k-1)$ | $P(n,k)$ |

Die Pfeile ↘ und ↓ in die $j$-te Spalte bedeuten eine Multiplikation der Elemente, von denen sie ausgehen mit $\bar{p}_j = 1 - p_j$ bzw. $p_j$, um das Element zu berechnen, auf dessen Platz die Pfeilspitze zeigt. Treffen Pfeilspitzen zusammen, sind die Ergebnisse zu addieren.
Zur Berechnung von $P(n, k)$ sind als Zwischenschritte genau $n(n - k)$ Additionen und $2n(n - k)$ Multiplikationen notwendig.
Zur simultanen Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeiten von $k$-aus-$n$-Systemen geht man wie folgt vor:
Es sei $\boldsymbol{a}^0 = (0, 1, 1, \dots, 1)^T$ ein Vektor mit $k + 1$ Elementen. Weiter sei $\boldsymbol{M}_j$ die $[(k + 1)\,(k + 1)]$-Matrix

$$\begin{bmatrix} p_j & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 - p_j & p_j & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 - p_j & p_j & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & p_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 - p_j & p_j \end{bmatrix}$$

Ist nun $\boldsymbol{a}^{(e)} = \boldsymbol{M}_e \boldsymbol{a}^{(e-1)}$, dann enthält $\boldsymbol{a}^{(n)}$ die Elemente

$$(P(n, 0), P(n, 1), \dots, P(n, k - 1), P(n, k))\,. \tag{5}$$

Dabei sind $n$ Matrizenmultiplikationen durchzuführen. Benutzt man dabei spezielle Unterprogramme zur Matrizenarithmetik, tritt eine Rechenzeiteinsparung auf. Eine weitere Rechenzeiteinsparung kommt dadurch zustande, daß die $P(n, 1) \dots P(n, k)$ teilweise aus denselben Elementen berechnet werden. Insgesamt sind $k^2 n$ Multiplikationen und $k(k - 1)\, n$ Additionen auszuführen. Bei $k$-facher Anwendung des Algorithmus von *Barlow* und *Heidtmann* [2] sind dagegen $2kn(n - (k + 1)/2)$ Multiplikationen und $kn(n - (k + 1)/2)$ Additionen nötig.

## 2. Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit für große $k$-aus-$n$:$G$-Systeme

Für große $n$ können die Grenzwertsätze über Ordnungsstatistiken benutzt werden, da die Ausfallwahrscheinlichkeit eines $k$-aus-$n$: G-Systems genau $P(X_{n-k+1:n} < t)$ ist, wobei $X_{1:n} \dots X_{n:n}$ die (nicht notwendig identisch verteilten) zufälligen Lebensdauerwerte der Komponenten sind. Für festes $k$ ist das Problem in [6] gelöst. Für $n \to \infty$ ($k/n \to \lambda$, aber identisch verteilte Lebensdauerwerte der Komponenten) ist in [5] eine Lösung angegeben. Für nicht identisch verteilte Komponenten gibt der folgende Satz eine Näherung für $P(X_{n-k+1:n} < t)$ an:
Es sei $p_i$, $i = 1 \dots$ eine Folge von Ausfallwahrscheinlichkeiten von Elementen eines $k$-aus-$n$: G-Systems, für die die Grenzwerte

$$E = \lim_{n \to \infty} A/n\,, \qquad 0 < E < \infty\,;$$

$$V = \lim_{n \to \infty} B/n\,, \qquad 0 < V < \infty\,;$$

$$A = \sum_{i=1}^{n} p_i > 0\,, \qquad B = \sum_{i=1}^{n} p_i \bar{p}_i > 0$$

existieren.

**Tafel 1.** **Ausfallwahrscheinlichkeit eines 10-aus-20-Systems**

| Argument | Exaktes Ergebnis | Näherung mit (9) |
|---|---|---|
| 0,4 | 0,03475 | 0,03593 |
| 0,5 | 0,11519 | 0,11710 |
| 0,6 | 0,25274 | 0,25452 |
| 0,7 | 0,42397 | 0,42456 |
| 0,8 | 0,59374 | 0,59295 |
| 0,9 | 0,73574 | 0,73399 |
| 1,0 | 0,90885 | 0,90697 |
| 1,2 | 0,95080 | 0,94935 |
| 1,3 | 0,97464 | 0,97365 |
| 1,4 | 0,98744 | 0,98680 |
| 1,5 | 0,99399 | 0,99358 |

**Tafel 2.** **Ausfallwahrscheinlichkeit eines 2-aus-3-Systems**

| Argument | Exaktes Ergebnis | Näherung mit (9) |
|---|---|---|
| 0,20 | 0,08666 | 0,09930 |
| 0,32 | 0,18391 | 0,19837 |
| 0,40 | 0,25440 | 0,26589 |
| 0,52 | 0,35991 | 0,36688 |
| 0,60 | 0,42702 | 0,43075 |
| 0,72 | 0,51987 | 0,51882 |
| 0,80 | 0,57575 | 0,57188 |
| 0,92 | 0,65013 | 0,64270 |
| 1,00 | 0,69357 | 0,68425 |
| 1,12 | 0,75010 | 0,73841 |
| 1,20 | 0,78249 | 0,76956 |
| 1,32 | 0,82404 | 0,80934 |
| 1,40 | 0,84756 | 0,83201 |
| 1,52 | 0,87742 | 0,86147 |
| 1,60 | 0,89417 | 0,87894 |
| 1,72 | 0,91529 | 0,90325 |
| 1,80 | 0,92706 | 0,91861 |
| 1,92 | 0,94182 | 0,94004 |
| 2,00 | 0,95001 | 0,95223 |
| 2,12 | 0,96024 | 0,96462 |
| 2,20 | 0,96589 | 0,96737 |
| 2,32 | 0,97293 | 0,96244 |
| 2,40 | 0,97680 | 0,95470 |
| 2,52 | 0,98162 | 0,94322 |
| 2,60 | 0,98427 | 0,94095 |
| 2,72 | 0,98755 | 0,95279 |
| 2,80 | 0,98936 | 0,97127 |
| 2,92 | 0,99159 | 1,00000 |
| 3,00 | 0,99281 | 1,00000 |

Weiterhin gelte $\lim_{n\to\infty} k/n = \lambda$, $0 < \lambda < 1$. Dann erhält man

$$\left|P(n, k) - \Phi\left(\frac{k - 1/2 - A}{\sqrt{B}}\right)\right| \leq \frac{12}{\sqrt{B}} = O\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\right), \qquad (6)$$

mit $\Phi$ als Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung und $O(1/\sqrt{n})$ als Restglied.
Werden die Zufallsvariablen $z_i$ betrachtet, gilt

$$E\, z_i = \bar{p}_i\,, \qquad Var\, z_i = p_i\bar{p}_i\,, \qquad E\,|\,z_i - \bar{p}_i|^3 = 2p_i\bar{p}_i\,.$$

Nun ist $P(n, k) = P(\sum_{i=1}^{n} z_i < k + \frac{1}{2})$.
Wendet man den Satz von *Esseen* [4] auf die Verteilung der Zufallsvariablen $S = \sum_{i=1}^{n} z_i$ an, so folgt die Behauptung (6).
Um nun die Verteilung der Zufallsvariablen $S$ für endliche $n$ besser nähern zu können, soll eine Edgeworth-Reihe mit 5 Gliedern benutzt werden [1] und [11], wozu man zunächst die Kumulanten der Zufallsvariable $z_i$ berechnet:

$$\left.\begin{aligned}
&\varkappa_{1i} = E\, z_i = \bar{p}_i\,, \qquad \varkappa_{2i} = Var\, z_i = \bar{p}_i - \bar{p}_i^2\,,\\
&\varkappa_{3i} = \bar{p}_i - 3\bar{p}_i^2 + 2\bar{p}_i^3\,,\\
&\varkappa_{4i} = \bar{p}_i - 7\bar{p}_i^2 + 12\bar{p}_i^3 - 6\bar{p}_i^4\,,\\
&\varkappa_{5i} = \bar{p}_i - 15\bar{p}_i^2 + 50\bar{p}_i^3 - 60\bar{p}_i^4 + 24\bar{p}_i^5\,,\\
&\varkappa_{6i} = \bar{p}_i - 31\bar{p}_i^2 + 180\bar{p}_i^3 - 390\bar{p}_i^4 + 360\bar{p}_i^5 - 120\bar{p}_i^6\,.
\end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Die Kumulanten von $S$, $\varkappa_e$, entstehen durch Summation der Kumulanten der $z_i$:

$$\varkappa_e = \sum_{i=1}^{n} \varkappa_{ei}\,. \qquad (8)$$

Nun gilt

$$\begin{aligned}
P(n, k) = {} & \Phi(t) - \frac{\eta_1}{6} Z^{(2)}(t) + \left(\frac{\eta_2}{24} Z^{(3)}(t) + \frac{\eta_1^2}{72} Z^{(5)}(t)\right) - \\
& - \left(\frac{\eta_3}{120} Z^{(4)}(t) + \frac{\eta_1\eta_2}{144} Z^{(6)}(t) + \frac{\eta_1^3}{1296} Z^{(8)}(t)\right) + \\
& + \left(\frac{\eta_4}{720} Z^{(5)}(t) + \frac{\eta_2^2}{1152} Z^{(7)}(t) + \frac{\eta_1\eta_3}{720} Z^{(7)}(t) + \right.\\
& \left. + \frac{\eta_1^2\eta_2}{1728} Z^{(9)}(t) + \frac{\eta_1^4}{31104} Z^{(11)}(t)\right) + \\
& + O(n^{-5/2})\,, \qquad (9)
\end{aligned}$$

mit

$$t = (k - 1/2 - \varkappa_1)/\sqrt{\varkappa_2}\,,$$

$$\eta_1 = \varkappa_3/\varkappa_2^{3/2}\,, \qquad \eta_2 = \varkappa_4/\varkappa_2^2\,,$$

$$\eta_3 = \varkappa_5/\varkappa_2^{5/2}\,, \qquad \eta_4 = \varkappa_6/\varkappa_2^3\,,$$

$$Z^{(k)}(x) = \frac{d^k}{dx^k} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}\,.$$

Man sieht leicht, daß die Rechenzeit für die aus (6) oder (9) ableitbaren Algorithmen linear mit der Systemgröße $n$ ansteigen, was diese Berechnungsmethoden für große Systeme geeignet macht.

## 3. Beispiele

Es werden ein 10-aus-20:G-System und 2-aus-3:G-System betrachtet, die aus gleichartigen Elementen mit der Lebensdauerverteilung $F_i(x) = 1 - \exp(-x/10)$ bestehen. Berechnet werden jeweils die Verteilungsfunktion der Ausfallzeitpunkt des Systems sowohl exakt als auch nach (9).
Tafel 1 zeigt die Ausfallwahrscheinlichkeit des 10-aus-20-Systems. Dabei übersteigt der absolute Fehler der Näherung $2 \cdot 10^{-3}$ nicht. Tafel 2 demonstriert die Unterschiede zwischen beiden Berechnungsmethoden am Beispiel des 2-aus-3-Systems. Hier ist zum einen eine Oszillation der Näherung festzustellen, ab Argument 2,2 nimmt die Güte der Näherung ab. Im Bereich von 0,2 bis 1,28 beträgt der Fehler höchstens $1{,}5 \cdot 10^{-2}$, im Bereich von 1,28 bis 2,24 maximal $2 \cdot 10^{-2}$, für Argumente über 2,24 wächst er bis auf $4 \cdot 10^{-2}$ an.
Dieses Beispiel zeigt deutlich, daß exakte Algorithmen, wie sie im Abschn. 2. vorgestellt wurden, die asymptotischen Techniken ergänzen müssen. Mit zufriedenstellenden Ergebnissen der Edgeworth-Entwicklung kann etwa ab $n = 100$ gerechnet werden. Beachtet man, daß in (9) das Restglied $O(n^{-5/2})$ ist, dürfte der Fehler dann etwa 1/50 des Fehlers für das 10-aus-20-System betragen, also $4 \cdot 10^{-5}$.

## Zusammenfassung

Die Anwendung von Edgeworth-Reihen zur Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit großer $k$-aus-$n$-Systeme liefert Ergebnisse ausreichender Genauigkeit für $n \geq 100$. Die Rechenzeit steigt dabei nur linear mit der Systemgröße an. Allerdings ist die Methode nur anwendbar, wenn für $n \to \infty$ $k/n \to \lambda$ strebt. Wenn $k$ fixiert ist, tritt eine asymptotische Verteilung anderer Form auf.
Für mehrwertige Systeme (siehe z. B. [10]) kann die vorgeschlagene Methode ebenfalls mit Erfolg angewendet werden, die Ersparnis an Rechenzeit dürfte hier noch größer sein.

## Literatur

[1] *Abramowitz, M.; Stegun, I.:* Handbook of Mathematical Functions. National Bureau of Standards/USA 1964, S. 935.
[2] *Barlow, R. E.; Heidtmann, K. D.:* Computing k-out-of-n System Reliability IEEE Trans. Reliability 33 (1984), S. 322–323.
[3] *Beichelt, F.; Franken, P.:* Instandhaltung und Zuverlässigkeit. Berlin: VEB Verlag Technik, 1983.
[4] *Feller, W.:* An Introduction to Probability Theory and its Applications. Band 2. New York/London/Sidney/Toronto: John Wiley & Sons Ltd. 1971.
[5] *Fisz, M.:* Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1980.
[6] *Galambos, J.:* The Asymptotic Theory of Extreme Order Statistics. New York/Chichester/Brisbane/Toronto: John Wiley & Sons Ltd. 1978.
[7] *Heidtmann, K. D.:* Improved Method of Inclusion-Exclusion Applied to k-out-of-n Systems. IEEE Trans. Reliability 31 (1982), S. 36–46.
[8] *Locks, M. O.:* Comments on: Improved Method of Inclusion-Exclusion Applied to k-out-of-n Systems. IEEE Trans. Reliability 33 (1984), S. 321 to 322.

**(Fortsetzung auf Seite 223)**

# Simulationssystem DS-88

## 0. Einleitung

Das Simulationssystem DS-88 ist zur Bearbeitung von Steuerungs- und Regelungsaufgaben kleineren und mittleren Umfangs vorgesehen und kann in Forschung und Lehre eingesetzt werden. Da bei diesen Aufgaben der Signalflußplan ein übersichtliches und häufig verwendetes Beschreibungsmittel ist, wurde das Simulationssystem blockorientiert aufgebaut. Es erlaubt die Darstellung kontinuierlicher und diskontinuierlicher Übertragungsglieder sowie die Untersuchung spezieller bei digitalen Regelungen auftretender Effekte (Rundung, Quantisierung).

Das System ist durch folgende Hauptmerkmale gekennzeichnet:

- hardwaremäßige Voraussetzungen: Personalcomputer PC 1715 (vorzugsweise) oder Bürocomputer BC A 5120 (lauffähig unter Betriebssystem SCP), Drucker
- flexible Handhabung durch dialogorientierte, menügeführte Bedienung ohne Editier- und Übersetzungsläufe sowie automatische Ermittlung der Rechenfolge (Sortierprogramm)
- Blockvorrat aus 32 Typen von Übertragungsgliedern (erweiterbar)
- Darstellung kontinuierlicher und diskontinuierlicher Übertragungsglieder, Integration mit Trapezregel
- Signalflußpläne mit maximal 99 Übertragungsgliedern bearbeitbar
- Parametereingaben in Fließpunkt-Dezimaldarstellung mit maximal sieben Ziffern
- Ergebnisausgabe als Tabellendruck wahlweise in Fließpunkt-Dezimaldarstellung (vier Ziffern) oder Gleitpunkt-Dezimaldarstellung (sechsstellige Mantisse)
- Möglichkeit der Protokollierung von Eingaben und Zwischenmenüs
- interne Zahlenverarbeitung im 4-Byte-Gleitpunktformat (24 bit Mantisse)
- Bildschirmgrafik mit gleichzeitiger Darstellung von maximal drei Kurven (nur PC 1715)
- Pseudografikdruck
- Möglichkeit des Auslagerns bzw. Einlesens von Anwenderprogrammen und Simulationsergebnissen auf bzw. von der Diskette.

## 1. Arbeiten mit DS-88

### *1.1. Vorbereitung*

Die Arbeit mit dem DS-88 erfordert die Darstellung des zu untersuchenden Systems durch einen Signalflußplan unter Verwendung von Elementen des DS-88-Blockvorrats nach Tafel 1. Die physikalischen Größen können dabei vom Gesichtspunkt der Zweckmäßigkeit und Anschaulichkeit aus normiert werden, Einschränkungen sind durch die Verwendung der Gleitpunktarithmetik kaum vorhanden (interner Zahlenbereich $\mp 2{,}9 * 10^{-39} \dots \pm 1{,}7 * 10^{38}$).

Im Bild 1 ist ein aufbereiteter Signalflußplan für einen einfachen Regelkreis dargestellt. Die Numerierung der Blöcke muß eindeutig sein. Erlaubt ist der Zahlenbereich von 1 bis 99, die Reihenfolge unterliegt keinen Vorschriften. Die Konzeption des DS-88 geht davon aus, daß im zu untersuchenden System kontinuierliche (Regelstrecken) und diskontinuierliche (Regler, digitale Filter) Übertragungsglieder auftreten können. Vom Anwender ist eine Bezugsabtastzeit $T$ für die diskontinuierlichen Übertragungsglieder festzulegen. (Sind keine diskontinuierlichen Glieder vorhanden, ist T eine fiktive Größe, über die indirekt die Integrationsschrittweite festgelegt wird.) Auf die Bezugsabtastzeit $T$ sind alle Zeitkonstanten kontinuierlicher Übertragungsglieder zu beziehen (zu normieren). Diese Übertragungsglieder werden mit einem Zehntel der Bezugsabtastzeit abgearbeitet. Die Abtastzeit der meisten diskontinuierlichen Übertragungsglieder kann zu einem Vielfachen von $T$ gewählt werden. Es lassen sich somit synchron arbeitende Abtastregelkreise, die mit einem ganzzahligen Vielfachen der digitalen Bezugsabtastzeit $T$ arbeiten, darstellen.

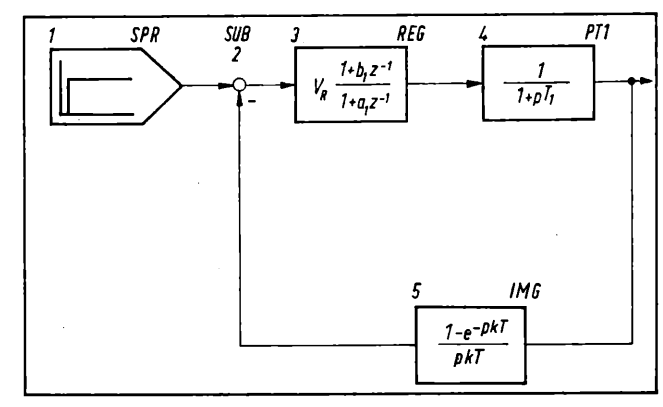



**Bild 1. Blockschaltbild des Beispielprogramms — Regelkreis mit einem digitalen Regler, einer kontinuierlichen Regelstrecke ($PT_1$-Glied) und einem Meßglied im Rückwärtszweig**

Kennwerte der Blöcke: 1 SPR V = 100, M = 3 (Sprungverzögerung); 3 REG $k = 1$, $a_1 = -1$, $b_1 = -0{,}8$, $V_R = 12$, $Y_M = 500$ (maximale Stellgröße); 4 PT1 $T_1/T = 20$; 5 IMG $k = 1$ (kT Abtastperiode)

**Tafel 1. Blockvorrat**

| Symbol | Bezeichnung |
|---|---|
| *kontinuierliche Übertragungsglieder:* | |
| PRO | Proportionalglied |
| INT | Integrierglied |
| PT1 | Verzögerungsglied 1. Ordnung |
| PT2 | Verzögerungsglied 2. Ordnung |
| PTS | Schwingungsglied |
| VH1 | Vorhalteglied 1. Ordnung |
| VH2 | Vorhalteglied 2. Ordnung |
| DIF | Differenzierglied |
| *diskontinuierliche Übertragungsglieder:* | |
| TZG | Totzeitglied (Laufzeitglied) |
| FIL | digitales Filter |
| REG | digitaler Regler mit Stellgrößenbegrenzung |
| REV | Regler mit veränderlichen Parametern |
| IMG | integrierendes Meßglied mit Rundung |
| MGT | Meßglied mit Totzeitcharakter |
| *Nichtlinearitäten:* | |
| TZO | Totzone |
| VTZ | variable Totzone |
| DPG | Dreipunktglied |
| ZPG | Zweipunktglied mit Hysterese |
| BEG | Begrenzung |
| FKT | Funktionswertgeber (7 Stützstellen) |
| SCH | Schaltfunktion |
| *Quellglieder/Signalgeneratoren:* | |
| SPR | Sprung |
| STG | Störgenerator (normal- oder gleichverteiltes Rauschsignal einstellbarer Amplitude) |
| PRB | PRBS-Generator (binäres Pseudorauschsignal) |
| SPF | Sprungfolge |
| *arithmetische Glieder* | |
| ADD | Addierglied |
| SUB | Subtrahierglied |
| MUL | Multiplizierglied |
| DIV | Dividierglied |
| SGN | Signumfunktion |
| ABS | Betragsbildung |
| RDG | Rundungsglied |
| MST | Mischstelle |

(Fortsetzung von Seite 222)


[9] *Plaks, B. I.:* Rastschot nadjsohnosti sistem so sloshnoj strukturoj uskorennym metodem Monte Karlo (Berechnung der Zuverlässigkeit komplizierter strukturierter Systeme mit der schnellen Monte-Carlo-Methode). Izw. AN SSSR, ser. Techn. Kib. 6 (1983), S. 158–162.

[10] *Reinschke, K.:* Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen für monotone mehrwertige Systeme. Zeitschrift für Elektrische Informations- und Energietechnik 11 (1981), S. 549–562.

[11] *Withers, L. S.:* Asymptotic Expansions for Distribution and Quantiles with Power Series Cumulants. J. R. Statist. Soc. 46B (1984), S. 389–396.

[12] *Zhegalow, S. I.:* Metod vytschislenija werojatnosti besotkasnoj raboty sistemy s raslitschnymi elementami (Eine Methode zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit der ausfallfreien Arbeit eines Systems mit unterschiedlichen Elementen). Izw. AN SSSR ser. Techn. Kib. 4 (1985), S. 219–221.


msr 8516 Dr. rer. nat. *H. Schäbe*, Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden, Technikum Diagnostik und Zuverlässigkeit

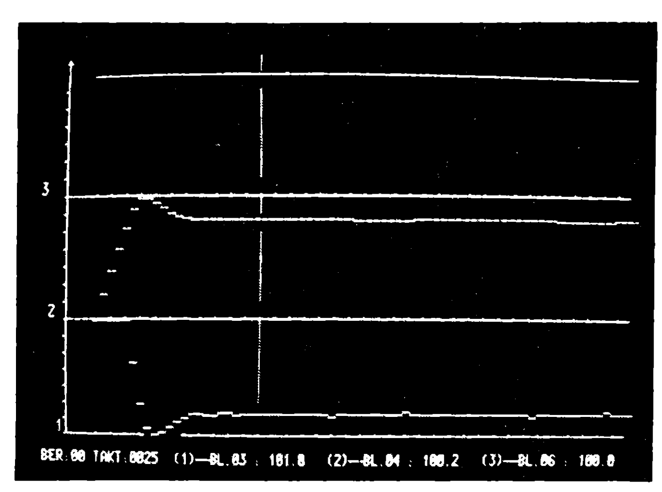



**Bild 2. Grafische Darstellung der Simulationsergebnisse zum Beispiel nach Bild 1**
oben: Sollwert; Mitte: Regelgröße; unten: Stellgröße

**Tafel 2. Eingaben für das Beispielprogramm**

| Block | Typ | Eingang | Parameter | Anfangswert |
|---|---|---|---|---|
| 01 | SPR | | M = 3<br>V = 100 | |
| Block | Typ | Eingang | Parameter | Anfangswert |
| 02 | SUB | 1: 01<br>2: 05 | | |
| Block | Typ | Eingang | Parameter | Anfangswert |
| 03 | REG | 1: 02 | VR = 12<br>B1 = −.8<br>B2 = .0000000<br>B3 = .0000000<br>A1 = −1<br>A2 = .0000000<br>A3 = .0000000<br>YM = 500<br>K = 1 | Y0 = .0000000 |
| Block | Typ | Eingang | Parameter | Anfangswert |
| 04 | PT1 | 1: 03 | T1 = 20 | Y0 = .0000000 |
| Block | Typ | Eingang | Parameter | Anfangswert |
| 05 | IMG | 1: 04 | K = 1 | |

### 1.2. *Programmeingabe*

Die Eingabe eines Anwenderprogramms erfolgt menügeführt. Zur Veranschaulichung sind für das Beispielprogramm von Bild 1 in Tafel 2 die notwendigen Eingaben in der Form des Eingabeprogramms dargestellt. Es lassen sich beliebig Parameter ändern, Blöcke streichen oder hinzufügen.
Die Übertragungsblöcke sind gekennzeichnet durch Nummer, Typ, Nummer des Vorgängerblockes (der Vorgängerblöcke, im Menü mit Eingang bezeichnet), Parameter und Anfangswert der Ausgangsgröße. Die Nummern werden vom Anwender im Signalflußplan festgelegt.

### 1.3. *Simulationslauf*

In einem Vorbereitungsmenü können verschiedene Bedingungen für den eigentlichen Simulationslauf und den Ergebnistabellendruck spezifiziert werden. Das betrifft u. a. die

- Länge des geplanten Simulationslaufs in Takten $T$
- Ergebnisdarstellung (Fließpunkt/Gleitpunkt)
- abzuspeichernden bzw. anzuzeigenden Blockausgänge (maximal 10).

Der Simulationslauf beginnt bei einem Neustart mit den im Eingabeteil festgelegten Anfangswerten, bei Wiederstart mit den zuletzt berechneten Ausgangswerten der einzelnen Blöcke. Während des Simulationslaufs erfolgt eine laufende tabellarische Ergebnisausgabe in der vorgewählten Form. Nach dem vorprogrammierten Ende erfolgt eine Ausgabe der Maximal- und Minimalwerte der einzelnen Wertefolgen.
Es ist möglich, das Überschreiben abgespeicherter Wertefolgen durch den nächsten Simulationslauf zu verhindern und damit zeitlich nacheinander aufgenommene Vorgänge parallel auszuwerten.

### 1.4. *Bildschirmgrafik*

Es sind maximal drei Kurven gleichzeitig darstellbar, wobei diese wahlweise gemeinsamen oder getrennten Abszissenachsen zugeordnet werden können. Die maximale vertikale Auflösung beträgt 255 Inkremente, die maximale Kurvenlänge bei drei dargestellten Blöcken 512 Takte. Zur Darstellung wird der zweite Zeichensatz des PC 1715 benutzt.
Im Vorbereitungsmenü ist zunächst festzulegen, ob die Kurven gemeinsam oder getrennt normiert und welche Blockausgänge dargestellt werden sollen. Durch Eingabe von Anzeigebeginn und -ende läßt sich eine Ausschnittsdarstellung der Kurvenverläufe programmieren.
Nach der Eingabe der darzustellenden Blockausgänge erfolgt die Festlegung der Positionen der Abszissenachsen. Anschließend erscheinen die ausgewählten Zeitverläufe auf dem Bildschirm und unterhalb der Ordinatenachse die der Position des verschieblichen Grafikkursors entsprechenden absoluten Amplitudenwerte. Eine Verschiebung des Bildes bezüglich der Zeitachse ist taktweise (Laufbild) und seitenweise möglich.
Bild 2 zeigt die grafische Kurvendarstellung für das Beispiel nach Bild 1.

### 1.5. *Pseudografikdruck*

Durch das Druckprogramm sind maximal vier Kurven darstellbar, wobei analog zur Bildschirmgrafik zwischen gemeinsamer und getrennter Normierung gewählt werden kann. Die Kurvendarstellung erfolgt mittels ASCII-Zeichen (+, o, ×, ⌘ und * für sich überschneidende Werte) und unter Nutzung standardisierter BDOS-Schnittstellen.
Im Vorbereitungsmenü werden verschiedene Angaben zur Anpassung an das gewünschte Papierformat erfragt (Druckzeichen/Zeile, Seitenformatierung, Taktnummer für Beginn und Ende des Drucks). Es können zwei Abszissenachsen definiert werden, deren Position in Abständen von 10 Zeichen einstellbar ist.

Anfragen sind zu richten an:

TU Dresden
Sektion Elektrotechnik
Bereich BAA
Mommsenstraße 13
Dresden
8027

Dr.-Ing. *V. Müller*, Tel. 463 2917
Dipl.-Ing. *A. Dittrich*, Tel. 463 2917
Dipl.-Ing. *U. Henze*, Tel. 463 2071

msr 8621

# TEMPERATUR '86

Vom 15. bis 17. Oktober 1986 war Suhl, nun schon mit Tradition, Diskussionsort für Fragen der Temperaturmessung. TEMPERATUR '86 war eine Gemeinschaftsveranstaltung des FUA „Temperaturmeßtechnik" der WGMA in der KDT, des FG „Temperatur" des ASMW und des KDT-Bezirksvorstandes Suhl. Die starke Beteiligung resultiert daraus, daß die Temperatur eine der häufigsten Meßgrößen ist und ständig schwierige Temperaturmeßaufgaben hinzukommen. Die erhöhten Anforderungen werden in der Regel durch Kombination bekannter Prinzipien und Methoden erfüllt, wobei gegebenenfalls durch Fortschritte in der Sensortechnologie oder in der Signalverarbeitung ein neues, wichtige Meßaufgaben lösendes Meßverfahren erreicht werden kann. Beispiele dafür unter den 37 Beiträgen sind durch die Einbeziehung der Mikrorechentechnik und leistungsfähigere Sensoren gekennzeichnet. Andererseits ist die Entwicklung guter Temperaturmeßmittel und deren Anschluß an die Temperaturskale noch keine Garantie für eine richtige Temperaturmessung. Der Anwender muß an der Einhaltung der für seine Meßaufgabe zutreffenden Regeln der Temperaturmessung interessiert sein. Unkontrollierte Temperaturmeßfehler können sich als Vergeudung von Gebrauchsenergie, Qualitätsmängel des Produkts, Lebensdauerverlust von Anlagenteilen oder Schadensfall auswirken. Wichtige Temperaturmeßregeln enthielt die zurückgezogene TGL 0-1953. Der FUA „Temperaturmeßtechnik" hat sich die Aufgabe gestellt, eine Arbeitsblattsammlung „KDT-Temperaturmeßregeln" zu erarbeiten. Darüber wurde im Heft 3/87 dieser Zeitschrift berichtet. Dank der Unterstützung des KDT-BV Suhl konnten zur TEMPERATUR '86 die ersten Arbeitsblätter angeboten werden.

Eine ASMW-Aufgabe ist die sichere Darstellung der **Temperaturskale** und deren Weitergabe. Dazu gehören „Neue Methoden für die sekundäre Darstellung der IPTS[1]) mit Hilfe von Edelmetallthermoelementen im Temperaturbereich von 0 bis 1800 °C" (*H. Maas*/Berlin) und „Der internationale Vergleich des staatlichen Etalons der Einheit Temperatur im Bereich von 0 bis 1064 °C" (*S. Lau*/Berlin). Erfreulich für die Anwender von Widerstandsthermometern und Thermoelementen ist der erreichte Stand der internationalen Standardisierung der Kennwerte und Genauigkeitsklassen, worüber *M. Scharlipp*/Ilmenau berichtete. Die Nennung dieses, mit vielen Zahlenangaben verbundenen Themas ist zugleich Gelegenheit, dem KDT-BV Suhl für die Herausgabe des Tagungsbandes Nr. 81 zu danken.

Den Themen aus der Entwicklung von **Temperatursensoren** soll die in einer Übersicht von Spezialtemperaturfühlern des VEB TWG (*P. Klemm*/Geraberg) getroffene Aussage vorangestellt werden, daß der Marktanteil der für spezielle Anforderungen entwickelten Temperaturfühler zunimmt. Dafür werden vorteilhafte Lösungsmöglichkeiten von der Sensorentwicklung erwartet. Es hat sich z. B. ergeben, daß „die thermoresistiven Eigenschaften von Poly-Siliciumschichten" (*M. Schmidt*/Dresden) in erster Linie für die Temperaturkompensation von in gleicher Technologie hergestellten Drucksensoren genutzt werden, weil so für die Temperaturmessung eine günstige thermische Ankopplung und Signalverarbeitung erreicht wird. Die Herstellung von Widerstandsthermometern in einer Schichttechnik statt aus Draht bietet nicht nur technologische Vorteile, sondern gestattet neue Lösungen für Oberflächentemperaturmessungen, Hilfswand-Wärmestromsensoren, Taupunkt-Hygrometer und Dehnungsmessungen (*E. Kaiser*/Dresden).

Die Nutzung von Lichtleitfasern als Temperatursensoren befindet sich noch in der Auswahlphase. Vorgestellt wurden Berührungsthermometer mit der Erfassung der temperaturabhängigen Brechzahl einer den Lichtwellenleiter umgebenden Flüssigkeit (*G. Schwotzer, T. Richter, R. Willsch*/Jena) sowie nach dem Prinzip der Absorptionskantenverschiebung im Filterglas RG 2 (*D. Heyer, G. Härtig*/Berlin).

Der Beitrag von *T. Elbel* und *J. E. Müller*/Jena zur Weiterentwicklung der Dünnschicht-Strahlungsthermosäule TS — 50,1 mit integriertem Temperatursensor zur Temperaturkorrektur des Übertragungsfaktors leitet zur pyrometrischen Temperaturmessung über.

Nach einer Übersicht des internationalen Entwicklungsstandes der **punktförmigen, pyrometrischen Temperaturmessung** (*F. Engel*/Magdeburg) wurde ein Mehrkanalpyrometer mit Mikrorechner vorgestellt, bei dem vor der Meßphase in einer Lernphase Emissionsgrade bestimmt werden (*U. Kienitz, C. Schiewe*/Dresden). *G. Mohs*/Magdeburg diskutierte gerätetechnische Methoden zur Reduktion des Einflusses unsicherer Emissionsfaktoren (Tauchrohr, Verhältnispyrometer). Beim Einsatz verschiedener Pyrometertypen an einer Drahtwalzstraße erwies sich ein Pyrometer mit oszillierendem Meßfleck und Maximalwertspeicher als vorteilhaft, weil die Fehlmessungen durch „leeren" Meßfleck und veränderlichen Zustand herausfallen (*K.-D. Lietzmann, H. Müller, B. Saalbach*/Freiberg). Weiterhin wurden Geräte für geophysikalische Aufgaben wie Hohlraumortung (*C. Oelsner*/Freiberg, *H. Aigner*/Leoben-Österreich) und arbeitshygienische Untersuchungen (*H. Bytel, H. D. Wotschke*/Berlin) vorgestellt. Folgerichtig ist nach der Gerätetechnik an die staatlichen Zulassungsverfahren (*E. Geyer, E. Wahls*/Berlin, *B. Dohmeyer*/Magdeburg: Prüfung des HPH 2000) und an nachträgliche Kalibrierungen (*B. Knöfel*/Dresden: Elektrisch beheizter Flächenstrahler für max. 120 °C) zu denken. In der Entwicklung tragbarer Pyrometer wurde in der DDR ein sehr guter Stand erreicht, aber die Verfügbarkeit moderner stationärer Pyrometer und geeigneter Prüfstrahler ist unzureichend.

Bei Geräten für **flächenmäßige, pyrometrische Temperaturmessung** spart eine Sensorzeile eine der für einen Sensor erforderlichen $x,y$-Ablenkungen. *J. Stock, H. Sandring*/Dresden berichteten über eine Linienkamera mit 128 ungekühlten, pyroelektrischen Sensoren. *B. Küttner, H.-J. Mendat*/Berlin demonstrierten den volkswirtschaftlichen Nutzen der Thermo-Control-Kamera im Bauwesen. Ein Teilproblem der Thermografen ist die Reflexionsminderung an den optischen Elementen durch Beschichtungen (*S. Poloszyk*/Poznań). *Ch. Grunow, E. Geyer, W. Dreiucker*/Berlin legten Erfahrungen von Nachkalibrierungen eines Thermografen vor.

Die **Signalverarbeitung** für elektrische Berührungsthermometer ist im Unterschied zu Pyrometern u. a. wegen der Standardisierung der Kennlinien mit verschiedenen Geräten möglich. Für tragbare, digital anzeigende Temperaturkontrollgeräte mit verschiedenen Temperaturfühlern (*D. Schild, S. Pohlmann*/Geraberg) werden für Oberflächentaster u. a. Miniaturtransistoren eingesetzt (*H. Walther, E. Walther*/Leipzig).

*B. Blumröder* und *H. Müller*/Ilmenau und Geraberg untersuchten die statischen und dynamischen Fehler für den TWG-Oberflächentemperaturtaster 268 an verschiedenen Materialoberflächen.

*B. Fellmuth* und *P. Seifert*/Berlin diskutierten die Beschreibung des thermischen Widerstandes zwischen Objekt und Sensor mit der charakteristischen Länge nach *Hust*.

Mikrorechnergesteuerte Temperaturmeßschaltungen (*T. Klickermann* und *K. Kämpfer*/Ilmenau) werden sowohl für digitale Temperaturanzeigen als auch für **dynamische Meßverfahren**, z. B. mit einem kürzer als die Einschwingzeit in eine Stahlschmelze eingetauchten Thermoelement (*K. Kämpfer* und *J. Wolfram*/Ilmenau und Unterwellenborn), gebraucht. Dynamische Verfahren zur Wärmeleitfähigkeitsbestimmung haben den Vorteil geringer Meßzeiten (*K. Schulte*/Dresden: Temperatursonde mit Impulsheizung für Schüttgüter sowie *W. Both*/Berlin: Aufheizzeitänderung eines Blockes durch zwischengeschaltete Halbleiterproben).

Einige Beiträge demonstrierten die Vielseitigkeit des **Thermoelements**. Offene Thermoelemente, die durch elektrisch leitfähige Meßobjekte geschlossen werden, gestatten Temperaturmessungen an Gleitlagerflächen (*A. Weichbrodt, D. Herrmann*/Greifswald), in Stahlschmelzen (*P. Schulz*/Magdeburg) und zur Untersuchung der Festkörperreibung (*W. Zscherpel*/Zwickau).

Spezielle Erfahrungen zur Lösung von Temperaturmeßaufgaben vermittelten folgende Beiträge: Temperaturkontrolle an Präzisionsgerätekomplexen (*F. Tzschach*/Jena), Meßwerterfassungsbox auf einem durch eine Trockenmaschine laufenden Band (*C. Müller, N. Rahm, A. Salzmann, G. Weiße*/Meerane), Temperaturdifferenzmessung mit mehrfachem Mantelthermoelement im Kalibergbau (*R. Czembor*/Sondershausen) und in Rohrströmungen (*G. Döhn*/Leipzig).

Die TEMPERATUR '89 wird wieder eine Gelegenheit zur Bilanz der Temperaturmeßmöglichkeiten sein.

msr 8622 *E. Kaiser*

[1]) IPTS — Internationale Praktische Temperaturskale

## Entwurf und zuverlässiger Einsatz von Automatisierungssystemen — Bericht über die Jahrestagung 1986 der WGMA

Die Jahrestagung 1986 der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) fand am 4. und 5. Dezember in Berlin statt. An folgenden Themenschwerpunkten wurden Stand und Entwicklungstendenzen der Automatisierungstechnik dargestellt:

- Umgang mit hierarchisch strukturierten Systemen (Modellbildung)
- deren steuerungstechnische Beherrschung (Steuerungen und ihr Entwurf)
- ihre zuverlässige Arbeitsweise.

Wachsende Anforderungen an die Modellierung automatisierter Systeme waren der Ausgangspunkt für den Vortrag „Strategien zur Modellbildung in hierarchisch strukturierten Steuerungssystemen" von *G. Bretthauer*/Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW, Institutsteil Dresden. Es wurde gezeigt, daß mit der Komplexität heutiger hierarchisch strukturierter Automatisierungssysteme Bedingungen entstanden sind, die eine optimale Gestaltung von Identifikationsexperimenten erfordern. Es ist im allgemeinen nicht möglich, alle Teilsysteme bzw. Signale in einem Schritt und mit einer Methode zu identifizieren. Für hierarchische Systeme wurde deshalb eine Methodik zur Ableitung von Strategien zur Teilsystem- und Störsignalidentifikation vorgestellt und anhand eines Beispiels erläutert.
Ausgehend von der Modellierung diskreter Prozesse wurde in einem weiteren Vortrag „Softwarehilfsmittel für den Entwurf von Binärsteuerungen" von *H. J. Zander*/TU Dresden auf die Realisierung solcher Steuerungen eingegangen. Es wurde herausgearbeitet, daß es für speicherprogrammierte Steuerungen nicht notwendig ist, vom Logikplan auszugehen, sondern daß ihrem Entwurf ebenso eine funktionsorientierte Verhaltensbeschreibung zugrunde liegen kann. Ausdruckmittel ist dabei die grafische Notation (z. B. Petri-Netz). Als Unterstützung der weiteren Entwurfsschritte, d. h. der Spezifizierung der Steuerungsaufgabe, des System- und Logikentwurfs, der Konfigurierung, Implementierung und der Dokumentation, aber auch der Inbetriebnahme und des Service, wurde im weiteren auf die dazu in der DDR verfügbaren bzw. in Entwicklung befindlichen Softwarehilfsmittel eingegangen.
„Systemkonzepte speicherprogrammierter Steuerungen" zur gerätetechnischen Realisierung solcher Binärsteuerungen waren der Inhalt eines Vortrages von *G. Meyer*/TU Karl-Marx-Stadt, in dem zunächst darauf hingewiesen wurde, daß sich speicherprogrammierte Steuerungen (SPS) von einem ursprünglichen Ersatz verbindungsprogrammierter Steuerungen mit Relais- und Logikbausteinen zu leistungsfähigen Mikrorechnersystemen mit standardisierten Hardware- und Softwareschnittstellen entwickelt haben. Zur Umsetzung von CIM-Konzepten steht heute z. B. ein abgestuftes Spektrum von SPS-Systemen zur Verfügung, das von der Einzelsteuerebene bis hin zur Prozeßleitebene reicht. Ihr Einsatz sowie der Aufschluß neuer technischer Anwendungsbereiche wird jedoch nicht unwesentlich von diesen einheitlichen Schnittstellen für Hardware und Software bestimmt. Die Orientierung an internationalen Normungsbestrebungen, insbesondere für die Systemgestaltung und die Anwenderprogrammiersprache, sollte daher Bestandteil einer jeden Steuerungsentwicklung sein. Dazu wurde im Vortrag ein Überblick zu den internationalen Entwicklungen und Normen gegeben und ihre Umsetzung in den SPS-Linien MRS 700, S 2000 und SPS 700 erörtert.
Daß in einem solchen Entwicklungsprozeß aber auch bereits von der Entwurfsphase an über die spätere Leistungsfähigkeit entschieden wird, war der Ausgangspunkt für den Vortrag von *K. Fischer*/HfV Dresden „Systemleistung und Zuverlässigkeit", der von *M. Grün*/IH Wismar gehalten wurde. Es wurde deutlich, daß heutige Automatisierungssysteme, die eine Vielzahl von Systemzuständen mit unterschiedlichem Niveau der Leistungsfähigkeit einnehmen können, mit „klassischen" Zustandsmodellen nicht mehr beschreibbar sind. Gleichsam ist für diese Systeme auch weniger eine explizite Aussage über deren Leistung entscheidend als vielmehr die zuverlässige Gewährleistung der Systemleistung selbst. Daher sind dazu mathematische Mehrzustandsmodelle entwickelt worden, die sowohl Leistungs- als auch Zuverlässigkeitsparameter enthalten und somit die Berechnung der Systemleistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Zuverlässigkeit der Systemelemente ermöglichen. Eine Reihe solcher Modelle wurde prinzipiell vorgestellt und dabei aufgezeigt, daß auch eine ökonomische Bewertung der Zuverlässigkeit aufgrund eingetretener Leistungsgewinne oder -verluste möglich ist.
Mit „Zuverlässigkeitsstrukturen" war der anschließende Vortrag von *K. Reinschke*/AdW, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Institutsteil Dresden, überschrieben, der zunächst deren Veranschaulichung mittels Graphen zeigte. Zweiterminale Zuverlässigkeitsnetze sind in diesem Sinn auf viele technische Systeme anwendbar und Fehler- sowie Erfolgsbäumen prinzipiell gleichwertig. Sie sind als Boolesche Systemmodelle jedoch nicht in der Lage, die zeitliche Reihenfolge von Ausfällen sowie mehr als zwei unterschiedliche Niveaus der Arbeitsweise zu berücksichtigen. Weiterführende Zuverlässigkeitsmodelle lassen sich dazu aber mit Hilfe der mehrwertigen Logik bzw. über die Modellierung des zu untersuchenden Systems als zeitabhängigen Prozeß finden. Die wahrscheinlichkeitstheoretischen Voraussetzungen für die quantitative Auswertung von Zuverlässigkeitsmodellen wurden erläutert.
„Probleme und Erfahrungen zur Digitalsimulation in der Zuverlässigkeitstheorie" stellte *R. Spannaus*/HfV Dresden vor. Diese Methode ist ein leistungsfähiges Verfahren zur Untersuchung stochastischer Prozesse. Wenn allerdings Ereignisse mit geringen Wahrscheinlichkeiten auftreten, wird der rechentechnische Aufwand (Rechenzeit) unvertretbar hoch. Ein vorgestelltes Simulationsprogramm benutzt aus diesem Grund ein Wichtungsverfahren für solche seltenen Ereignisse. Das Programm ist auf der Basis elementarer Ursache-Wirkung-Beziehungen aufgebaut, die in Form von Ereignissen und Zuständen beschrieben werden und ist insofern flexibel für unterschiedlichste Probleme einsetzbar.
Die Jahrestagung 1986 der WGMA ist mit diesem Programm wiederum ihrem eigenen hohen Anspruch gerecht geworden. Bewährt hat sich dabei erneut die Form, über repräsentative Übersichtsvorträge ein größeres Wissensgebiet aktuell darzustellen und somit vor allem die interdisziplinäre Arbeit zu fördern. Diesem Anliegen diente gleichfalls die Veröffentlichung von Schwerpunkten aus den Vorträgen im Heft 11/1986 der msr, das als Tagungsmaterial auslag.
Die Jahrestagung 1987 der WGMA wird sich schwerpunktmäßig der Qualitätssicherung widmen. Sie findet im November 1987 in Leipzig statt.

msr 8648 *R. Mangelsdorf*

## CAD/CAM-Konferenz der WGMA

Die Fachausschüsse „Rechnersysteme und -anwendungen" und „Automatisierungsgeräte" der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) veranstalteten vom 17. bis 19. Dezember 1986 in Berlin gemeinsam mit den Fachausschüssen „Rechnerautomatisierte Fertigung" und „Projektierung von Automatisierungsanlagen" der WGMA, den BS der KDT des VEB Robotron-Elektronik Dresden, der Akademie der Wissenschaften und der Nationalen IFIP-Arbeitsgruppe „Rechnergestützte Fertigungstechnik" die 2. Fachtagung „Rechnergestützte Arbeit" zusammen mit der 9. Wissenschaftlich-Technischen Konferenz „Elektronische Automatisierungssysteme" als CAD/CAM-Konferenz der WGMA zur Thematik: „Automatisierung der technischen Vorbereitung und Steuerung der Produktion".
7 Plenarvorträge gaben einen Überblick über folgende Fachgebiete

*W. Fritzsch*/TU Karl-Marx-Stadt,
*D. Kochan, W. Groß*/TU Dresden,
*P. Kuntsche*/VEB Kombinat Robotron Dresden:

Durchgängig automatisierte Systemlösungen für die technische Vorbereitung und Steuerung der Produktion — Stand und Perspektive

*F. Pleschak*/TU Dresden: CAD/CAM-Einsatzvorbereitung unter Berücksichtigung organisatorischer und ökonomischer Aspekte — Erfahrungen, Probleme und Ausblicke

*H. Fuchs*/Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) der AdW, Berlin, *P. Kuntsche*/VEB Kombinat Robotron Dresden: CAD/CAM-Systemtechnik — Stand und Perspektive

*D. Kochan, Oelschlegel*/TU Dresden, *J. Schumann*/VEB Kombinat Robotron Dresden, *B. Voigt*/VEB Kombinat Datenverarbeitung Berlin: Aus- und Weiterbildung im Gebiet CAD/CAM

*H. Fuchs*/ZKI der AdW, Berlin, *W. Bennewitz*/TH Leipzig, *G. Maronna*/IS Berlin: CAD/CAM-Einsatz in der Automatisierungstechnik
*B. Junghans*/VEB Carl Zeiss JENA, *W. Groß*/TU Dresden, *D. Jungmann*/VEB Kombinat Robotron Dresden: CAD/CAM-Einsatz in der Elektrotechnik/Elektronik
*H. Stopat*/Bauakademie Berlin: CAD/CAM-Einsatz im Bauwesen.
Rund 400 Teilnehmer hörten in 6 Sektionen etwa 50 Vorträge und diskutierten das breite und aktuelle Gebiet der CAD/CAM-Technik. Die Gliederung der Sektionen macht das Anliegen der Veranstalter klar, sowohl die Systemtechnik als auch Hard- und Software sowie volkswirtschaftlich relevante Anwendungsgebiete und Lösungen vorzustellen:

Sektion 1: Theoretische und methodische Grundlagen
Sektion 2: Geräte- und programmtechnische Basis für die rechnergestützte Arbeit
Sektion 3: CAD in der Automatisierungstechnik
Sektion 4: CAM — flexible Automatisierung
Sektion 5: CAD/CAM in der Elektrotechnik/Elektronik
Sektion 6: CAD/CAM im Bauwesen.

Den Veranstaltern ist zu danken, daß zu allen Vorträgen Kurzfassungen vorlagen und den Teilnehmern wesentliche Beiträge zu Tagungsbeginn im Heft 12/1986 der msr als Tagungsmaterial zur Verfügung standen. Viele Beiträge werden auch im Nachgang veröffentlicht, so z. B. in den „edv-aspekten".
Die CAD/CAM-Konferenz machte deutlich, daß diese Schlüsseltechnologie entscheidende Möglichkeiten zur Steigerung der Effektivität und Produktivität bietet. Entsprechende Gebiete sind z. B.

— Hardware- und Software-Systemtechnik für CAD/CAM-Systeme
— rechnergestützter Entwurf von Algorithmen, Teilen und Programmen
— rechnergestützte Herstellung von Schemata und deren Dokumentation
— rechnergestützte Projektierung von Automatisierungsanlagen und im Bauwesen
— operative Prozeßführung mit Rechnerstützung
— Simulation und Steuerung von flexiblen Fertigungssystemen.

Einzelne Phasen dieses Prozesses wurden analysiert und aktuelle Forschungsergebnisse und vielfältige Anwendungen in der Elektrotechnik, im Bauwesen und in der Automatisierungstechnik selbst dargestellt.
Die CAD/CAM-Konferenz der WGMA hat erfolgreich dazu beigetragen, den Erfahrungsaustausch zwischen den Fachleuten zu aktivieren.
Diese Konferenz war ein erfolgreicher Beitrag zur Erfüllung des Auftrags des Präsidiums der KDT an die WGMA zum Problemkreis „Rechnergestützte Arbeit".

msr 8652 *H. Fuchs*


TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN

## 8th International Colloquium on Higher Education „The Teaching of Measurement and Instrumentation"

Das 8. Internationale Kolloquium über die Hochschulausbildung „The Teaching of Measurement and Instrumentation" wurde im Auftrag der nationalen Mitgliedsorganisation der IMEKO in der VR Polen, dem NOT PKPA, von der Technischen Universität Warschau organisiert und vom 24. bis 26. September 1986 in Warschau durchgeführt.
Das Kolloquium wurde von über 100 Wissenschaftlern aus 14 Ländern besucht, darunter auch aus den außereuropäischen Ländern Japan und Algerien.
Die Konferenzen des TC-1 „Higher Education" der IMEKO gehören zu den ständigen IMEKO-Aktivitäten und haben in der Vergangenheit bereits zu fruchtbaren Abstimmungen bezüglich der Lehrinhalte, -methodiken und der fachspezifischen Besonderheiten geführt. Diese Tendenzen wurden hier weitergeführt.
In fünf Vortragsgruppen wurden insgesamt 35 Vorträge gehalten; zuzüglich gab es zwei Hauptvorträge (*L. Finkelstein*/GB, zugleich Vorsitzender des TC „Higher Education" der IMEKO, und *A. J. Fiok*/VR Polen). Die Anzahl der Vorträge je Gruppe kann als ungefähres Maß für das aktuelle Interesse an bestimmten, in der höheren meßtechnischen Ausbildung herangereiften Problemen dienen:

| | |
|---|---|
| — Philosophy of Teaching | 11 |
| — New Methods of Teaching | 9 |
| — Teaching Experience | 6 |
| — Teaching in Laboratories | 5 |
| — Evaluation of Teaching Effectivness and Computer Aided Teaching (CAT) | 4 |

Dabei ist der Titel „neue Methoden" wohl etwas zu anspruchsvoll geraten — ausgesprochen neue Methoden wurden nicht mitgeteilt. Dafür vermittelten aber Vorträge, Diskussionen und Pausengespräche ein weitgehend vollständiges Bild über den derzeitigen Stand der Lehrmethodik und -inhalte meßtechnischer Kurse an Hochschulen und Universitäten in Europa und in Japan. Aus Sicht des Berichterstatters sind folgende Erfahrungen und Erkenntnisse bemerkenswert:

— hochentwickelte, kleinere Industrieländer betonen die Notwendigkeit einer umfassenden, ingenieur-theoretisch fundierten Breitenausbildung mit einem hohen Anteil an selbständigen Experimenten (die ihrerseits natürlich nur Beispielcharakter tragen!) der Studierenden (*J. Weiler*/Schweiz; *H. Weiß*/Österreich; *N. Veltmann*/Niederlande)
— der Informationsaspekt gewinnt zunehmend an Bedeutung, sowohl wegen der Allgemeingültigkeit als auch wegen der Einbeziehung informationsverarbeitender Funktionseinheiten direkt in die Meßmittel (*N. Veltmann*/Niederlande; *K. Kariya*/Japan; *T. Horiuchi*/Japan; *E.-G. Woschni*/DDR u. a.)
— Meßtechnik und Informatik sind keine konkurrierenden Disziplinen, sondern bedingen einander in bezug auf den computergestützten Meßprozeß (*N. M. Stabrowski*/VR Polen; *N. Milner*/Großbritannien; *L. Benetazzo*/Italien)
— die Bedeutung einer fundierten meßtechnischen Ausbildung wird besonders spürbar in den angewandten Ingenieurdisziplinen wie Textiltechnik (*U. Frühauf*/DDR; *A. Krucinska*/VR Polen), Biotechnologie (*A. Neykow*/VR Bulgarien) und in der Auswertung von Experimenten (verschiedene Autoren)
— die Einbeziehung von Expertensystemen in Meßprozesse muß sich auch heute schon in der Ausbildung niederschlagen (*L. Papp*/Ungarische VR u. a.).

Darüber hinaus sollten folgende vorgetragenen Überlegungen weiter verfolgt und ausgebaut werden:

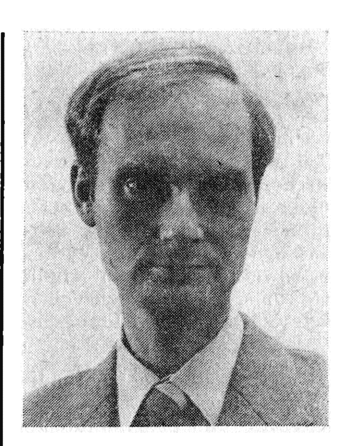
— besonders in der modernen Sensortechnologie wird deutlich, daß zwischen Energie, Material und Information ein enger Zusammenhang besteht und daß diese Aspekte in der Ausbildung keinesfalls isoliert stehen dürfen (*T. Horiuchi*/Japan)
— informationstheoretisch begründete Kenngrößen lassen sich sinnvoll auch auf ökonomische Kenngrößen (Qualitätskriterien) erweitern und nutzen (*E.-G. Woschni*/DDR)
— die heute geforderte hohe Flexibilität des Ingenieurs in der Industrie bedingt eine entsprechend breite Ausbildung, die auch die Meßtechnik umfaßt. Ein seit 1985 an der ETH Zürich eingeführter Studienplan für Elektrotechniker berücksichtigt weitgehend diese Forderungen (*Z. Weiler*/Schweiz). Dieser Plan ist mit dem gegenwärtig in der DDR diskutierten Konzept der zukünftigen Ausbildung für Elektrotechniker vergleichbar.

Zum Tagungsprogramm gehörte auch der Besuch von meßtechnischen Laboratorien an der TU Warschau. Hier sind beispielsweise Mikrorechner entweder direkt in die Versuchsplätze integriert oder stehen für die Meßdatenauswertung voll zur Verfügung.
Dem TC „Higher Education" und den Organisatoren ist es gelungen, eine niveauvolle und inhaltsreiche Veranstaltung zu bieten, die den Teilnehmern manche neue Anregung vermitteln konnte.
Das nächste (9.) internationale Kolloquium des TC-1 zur Hochschulausbildung in der Meßtechnik wird voraussichtlich 1990 stattfinden.

msr 8628 *W. Richter*

## Eine Anwendungsstrategie für robuste Tuning-Mehrgrößenregler mit PI-Charakter

Die Dissertation widmet sich einem Verfahren der Mehrgrößenregelung, das darauf zielt, typischen Randbedingungen bei Regelungsaufgaben verfahrens- und energietechnischer Prozesse Rechnung zu tragen. Das untersuchte Konzept der robusten Tuning-Mehrgrößenregelung ermöglicht einen ingenieurgemäßen Zugang zu solchen Problemen, wie der häufigen Nichtverfügbarkeit von Prozeßmodellen, der Kompliziertheit einiger anderer Mehrgrößen-Reglerentwurfsverfahren und dem Fehlen geeigneter Inbetriebnahmestrategien.
Das Reglerentwurfsverfahren geht von einer geringen Streckenkenntnis aus, indem lediglich experimentell ermittelte meßfehlerbehaftete Sprungantworten zugrunde gelegt werden. Der mögliche Verzicht auf ein genaues Streckenmodell basiert auf der gezielten Nutzung von Robustheitseigenschaften der Regelung. Der Parameteransatz der verwendeten Regler mit PI-Charakter ist einfach und transparent. Die Einstellung ausgewählter Reglerparameter kann in Anlehnung an vertraute Praktiken für Eingrößen-PI-Regler direkt am Prozeß während der Reglerinbetriebnahme erfolgen. Der gesamte Lösungsweg von der Streckenmodellierung bis zur Inbetriebnahme der Regelung wird im Zusammenhang betrachtet.
Ausgehend von einer Analyse der praktischen Gegebenheiten und Voraussetzungen für den Einsatz von Mehrgrößenregelungen und einer ausführlichen Motivation des Konzepts wird in der Dissertation eine vom Verfasser erprobte Variante der Tuning-Regelung im Detail untersucht. Es wurde das Ziel verfolgt, den in der Literatur vorgezeichneten Lösungsweg zum Entwurf von Tuning-Regelungen aufzuarbeiten und anwendbar zu gestalten. An Erprobungsbeispielen gesammelte Erfahrungen finden ihren Niederschlag in der Vervollständigung des Lösungsweges und der Einbeziehung praxisrelevanter Erweiterungen. Die Auswertung eines ersten erfolgreichen Industrieeinsatzes und zweier weiterer Praxisbeispiele gibt über Praktikabilität und Leistungsfähigkeit des Regelungskonzepts und der vorgeschlagenen Lösungsschritte Aufschluß.
Das Ergebnis der Arbeit spiegelt sich in einer vom Verfasser abgeleiteten Anwendungsstrategie für robuste Tuning-Mehrgrößenregler mit PI-Charakter wider. Bei der inhaltlichen und textlichen Darstellung der Arbeit liegt der Schwerpunkt auf Anwendungsaspekten und nicht auf einer systemtheoretisch-mathematisch orientierten Betrachtungsweise. Es wurde eine ingenieurgemäße Erläuterung der für das Verständnis erforderlichen theoretischen Aussagen angestrebt.



Dipl.-Ing. *Ulrich Jumar* (27) nahm 1978 ein Studium an der Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" auf, das mit einer Diplomarbeit über „Mehrgrößenregelalgorithmen für unvollständig bekannte Regelstrecken" abgeschlossen wurde. Von 1982 bis 1985 Forschungsstudium an derselben Einrichtung und Anfertigung der Dissertation (A). Seit 1985 Assistent im Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen an der TH Magdeburg.

Dissertation A an der Fakultät für Technische Wissenschaften des Wissenschaftlichen Rates der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg, Magdeburg, 7. Mai 1986.

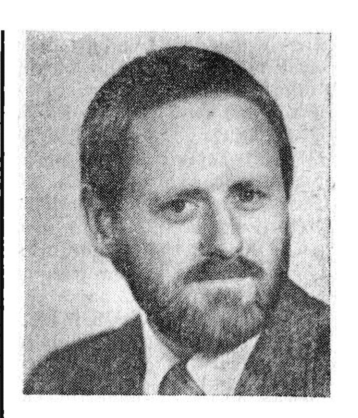
Doktorand: Dipl.-Ing. *U. Jumar*
Vorsitzender der Verfahrenskommission: Prof. Dr. sc. techn. *K.-H. Tempelhof*
Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. *U. Korn*
Dr. sc. techn. *J. Lunze*
Doz. Dr.-Ing. *J. Sponer*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TU Magdeburg entliehen werden.

msr 8590 Dr.-Ing. *U. Jumar*, Technische Universität „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik, WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen.

## Untersuchung und Weiterentwicklung von Algorithmen für Selftuning-Regler

In der Dissertation werden ein universeller Selftuning-Regelalgorithmus abgeleitet sowie ein rechnergestützter Entwurfsalgorithmus zur Bestimmung der Startwerte für diesen Selftuning-Regelalgorithmus vorgeschlagen.
Bei der Ableitung des Selftuning-Regelalgorithmus wird von bekannten Modifikationen des sog. „Standard"-Selftuning-Regelalgorithmus ausgegangen, z. B. von dem Selftuning-Regelalgorithmus mit Stellgrößenwichtung bzw. mit variablem Gedächtnisfaktor. Weiterhin werden ein integrales Grundverhalten, die „Abschaltung" der Identifikation sowie der Einfluß von Stellgrößen- und Stellgeschwindigkeitsbegrenzungen berücksichtigt. Um ein integrales Grundverhalten zu erreichen, wird eine neuartige, kaskadenähnliche Struktur vorgeschlagen.
Bei der Inbetriebnahme sind einem Selftuning-Regler nach diesem Algorithmus verschiedene Startwerte vorzugeben, die anhand bestimmter A-priori-Informationen über den Prozeß mit einem geeigneten Entwurfsalgorithmus ermittelt werden. Bei der Ableitung des Entwurfsalgorithmus wird davon ausgegangen, daß dem Entwurf in vielen Fällen eine Sprungantwort bzw. Übergangsfunktion der Regelstrecke zugrunde gelegt werden kann. Die Auswertung der Übergangsfunktion erfolgt mit einem rechnergestützten Verfahren auf der Grundlage des Wendetangentenverfahrens. Das Verfahren dient zur Bestimmung von Systemordnung, diskreter Laufzeit und diskreten Systemparametern der Regelstrecke für beliebige Abtastzeiten zur Berechnung von Anfangswerten für die Reglerparameter. Mit diesen Werten kann der Grundregelkreis im Entwurf off-line getestet werden. Der Entwurfsalgorithmus wird als rechnergestützter Entwurf (CACSD) mit einem Mikrorechner MC 80 realisiert, wobei Anschaulichkeit, Übersichtlichkeit und Unkompliziertheit der Anwendung besonders berücksichtigt werden.
Eine Einschätzung der Leistungsfähigkeit des abgeleiteten Selftuning-Regelalgorithmus erfolgt anhand von simulativen Untersuchungen. Dabei wird in Anlehnung an einen speziellen technologischen Prozeß eine einfache Regelstrecke zugrunde gelegt. Die Startwerte des Selftuning-Reglers werden bei diesen Versuchen mit Hilfe des vorgeschlagenen Entwurfsalgorithmus bestimmt. In der Auswertung der Versuche hinsichtlich des Regelkreisverhaltens, der Adaptionsfähigkeit und des Entwurfs kann festgestellt werden, daß die Regelung mit dem



Dipl.-Ing. *Manfred Lohöfener* (31) studierte von 1977 bis 1981 Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik an der TH Leipzig. Anschließend absolvierte er ein Forschungsstudium an der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen, WB Automatisierungstechnik. Seit 1984 ist er im VEB Polygraph, Druckmaschinenwerke Leipzig, als Entwicklungsingenieur tätig. Dissertation A an der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen. Tag der öffentlichen Verteidigung: 23. April 1986.

Doktorand: Dipl.-Ing. *M. Lohöfener*

Gutachter: 1. Doz. Dr. sc. techn. *K.-P. Schulze*
2. Prof. Dr. sc. techn. *U. Korn*
3. Prof. Dr. sc. techn. *K. Hormann*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TH Leipzig entliehen werden.

msr 8601 Dr.-Ing. *M. Lohöfener*, VEB Polygraph Druckmaschinenwerke Leipzig, Wachsmuthstr. 4, Leipzig, 7031.

abgeleiteten Selftuning-Regelalgorithmus in allen Fällen ein gutes Verhalten aufweist und daß der vorgeschlagene Entwurfsalgorithmus den gestellten Anforderungen entspricht.
Abschließend werden in der Arbeit die bei den durchgeführten Untersuchungen gewonnenen Erfahrungen mit der verwendeten Gerätetechnik sowie den dafür entwickelten Programmsystemen zusammengefaßt. Um auch im Labor praxisnahe Bedingungen mit vertretbarem Aufwand simulieren zu können, wurde ein Hybridrechensystem realisiert, das aus dem hybriden Analogrechner ADT 3000, dem Mikrorechner K 1520 und Programmsystemen zur Steuerung des Hybridrechensystems unter Echtzeitbedingungen bzw. zur Lösung spezieller regelungstechnischer Aufgaben besteht.

## Die Rationalisierung der rechnergestützten operativen Produktionsplanung zur Erhöhung der Effektivität flexibler, integrierter Fertigungsabschnitte in Maschinenbaubetrieben

Der zunehmende Einsatz automatisierter Fertigungssysteme in Maschinenbaubetrieben trägt den neuen Anforderungen zur effektiven Produktion innovativer Erzeugnisse in kleinen und mittleren Serien Rechnung. Eine wesentliche Voraussetzung dafür bildet die Rationalisierung der rechnergestützten operativen Produktionsplanung im Rahmen von CAD/CAM-Systemen. Mit der Dissertation werden Beiträge zur Weiterentwicklung der theoretischen und methodischen Grundlagen von Planung und Ökonomie der flexiblen Automatisierung von Produktions- und Leitungsprozessen geleistet und Orientierungen für ihre praktische Nutzung gegeben.
Die Effektivität flexibler, integrierter Fertigungsabschnitte als Prozeßinnovation wird als eine komplexe Kategorie behandelt. Dieses Effektivitätskonzept umfaßt

- den technischen Wirkungsgrad gegenüber alternativen Lösungen hinsichtlich Sortiment, Stückzahl, Anzahl und technischem Niveau der Bearbeitungsstationen, Losgrößenbereich, Bearbeitungszeit, Geschlossenheitsgrad und Spezialisierungsgrad
- die sozialökonomische Effektivität durch Gewinnung von Arbeitskräften, Steigerung der Arbeitsproduktivität, Beschleunigung des Produktionsprozesses mit kürzeren Umschlagsperioden für Grundfonds und Umlauffonds, Gewinnzuwachs durch Flexibilität, Einsparung von Grundmitteln, Produktionsfläche, Material und Energie, Qualitätserhöhung sowie Verbesserung von Arbeitsinhalten, Arbeitsbedingungen, Qualifikationsnutzung und Leistungsverhalten der Arbeitskräfte
- die relative Effektivität als Verhältnis der dynamischen Effektivität der innovativen Produktionseinheiten zur durchschnittlichen Effektivität vergleichbarer Produktionseinheiten

und wird auf realisierte automatisierte Systeme angewandt.
Anhand von Bewertungskriterien wird nachgewiesen, daß die „klassischen" Verfahren der operativen Produktionsplanung den neuen Bedingungen geänderter Marktanforderungen sowie den neuen Möglichkeiten der flexiblen Automatisierung und des Einsatzes rechnergestützter Verfahren der Planoptimierung nicht mehr genügen.
Nach der Ableitung von Einflußfaktoren auf die inhaltlich-organisatorische Lösung der operativen Produktionsplanung in Maschinenbaubetrieben mit flexiblen Fertigungsabschnitten und der Wertung verschiedener Ablaufplanungsverfahren werden 2 Lösungskonzepte für Fertigungsabschnitte der Gruppe A mit mittlerer Auftragsintensität und der Gruppe B mit geringer Auftragsintensität entwickelt. Sie umfassen jeweils die Zielgewichtung und die Teilaufgaben der externen und der internen operativen Produktionsplanung. Ihre stufenweise Realisierung erfordert den Einsatz von Simulationsmodellen und modularer Anwendersoftware mit leitergerechter, dialogorientierter Informationsverarbeitung als Element künftiger computerintegrierter Fertigung (CIM).



Dipl. oec. *Heike Belitz* (27) studierte von 1977 bis 1981 an der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner" Berlin, Fachrichtung Mathematische Methoden und Datenverarbeitung in der Wirtschaft. Von 1981 bis 1984 war sie Forschungsstudentin an der Sektion Leitung, Informationsverarbeitung und Statistik dieser Hochschule. Seit 1984 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin der Forschungsgruppe „Flexible Automatisierung" des Instituts für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft an der Akademie der Wissenschaften der DDR.
Sie verteidigte am 21. März 1986 ihre Dissertation A an der Hochschule für Ökonomie „Bruno Leuschner" Berlin.

Doktorand: Dipl. oec. *H. Belitz*

Vorsitzender der Verfahrenskommission:
Prof. Dr. sc. oec. *W. Schoppan*

Gutachter: Prof. Dr. sc. oec. *K. Sack*
Prof. Dr. sc. oec. *P.-D. Kluge*
Prof. Dr. rer. oec. habil. *H.-G. Lauenroth*
Dipl.-Ing. *B. Kaufmann*

msr 8525 Dr. oec. *Heike Belitz*, Institut für Theorie, Geschichte, und Organisation der Wissenschaft an der AdW der DDR, Prenzlauer Promenade 149–152, Berlin, 1100.

## Ein Beitrag zur Simulation der Steuerung eines flexiblen Mikroelektronikmontageprozesses

Um die auf dem X. Parteitag der SED gestellte Forderung nach „flexiblen Automatisierungslösungen unter Einsatz von Robotern der dritten Generation und voll integrierter Meß- und Steuerungstechnik" erfüllen zu können, müssen allgemeine Prinzipien zur Analyse und Synthese von Prozessen für verschiedene Bereiche des gesellschaftlichen Lebens (biologische, technische, soziologische, ökonomische) entwickelt werden.
Die Dissertation stellt speziell eine Methode zum Entwurf von Steuerungssoftware für einen flexiblen Mikroelektronikmontageprozeß mit Hilfe der Simulation unter Nutzung von GPSS/SIMDIS vor.
Der Einsatz automatisierter Produktionsinstrumente erfordert die Entwicklung theoretischer Methoden auf der Grundlage der Modelle und Methoden der Kybernetik und der Operationsforschung, die die Basis für die Lösung relevanter Probleme der Steuerung realer Prozesse in der sozialistischen Volkswirtschaft bilden. Die ökonomischen Bereiche und Prozesse müssen analysiert werden hinsichtlich

- ihres Verhaltens gegenüber ihrer Umwelt
- ihrer intern ablaufenden Prozesse und Funktionen

und synthetisiert werden zur Erfüllung solcher Aufgaben, wie die intensive Steigerung der Arbeitsproduktivität, also die Steigerung der Effektivität wirtschaftlicher Tätigkeit.
Das Ergebnis der Analyse und Synthese ist die Beschreibung des Ablaufs des realen Prozesses und des dazu notwendigen Steuerungsprozesses in einem formalen Modell.
Die Simulation ist ein modernes, aussagekräftiges und wichtiges Werkzeug zur Analyse und Synthese von Prozessen und Systemen. Sie wurde genutzt, um für einen flexiblen Mikroelektronikmontageprozeß das Konzept eines geeigneten Steuerungsprozesses zu untersuchen und dieses auf der Grundlage gewonnener Ergebnisse zu verbessern.
Die theoretisch und praktisch durchgeführten Untersuchungen führten zu



einer Reihe neuer Erkenntnisse, speziell bei der Erstellung von Simulationsmodellen einfacher Automaten und Bedienprozesse und deren Umsetzung in GPSS/SIMDIS, aber auch bei der Erstellung der Steuerungsprozesse großer komplexer Produktionsprozesse. Die Ergebnisse der Simulation des Steuerungsprozesses waren die Bestätigung des logischen Konzeptes, das bereits praktisch auf Klein- und Mikrorechnern umgesetzt wurde und funktionstüchtig ist, und zum anderen gaben sie Hinweise für die Dateiverwaltung zur Organisation der technologischen Stammdaten unter Berücksichtigung der Forderung nach schneller Innovation.

Dipl.-Ing. *Marina Kießling* † (geboren am 25. März 1958, gestorben am 4. April 1985) studierte von 1976 bis 1981 an der Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden. Danach wissenschaftlicher Assistent im WB Automatisierte Informationssysteme der o. g. Sektion.

Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. *H. Stahn*
Doz. Dr. rer. nat. *P. Lorenz*
Dr. sc. techn. *U. Petersohn*

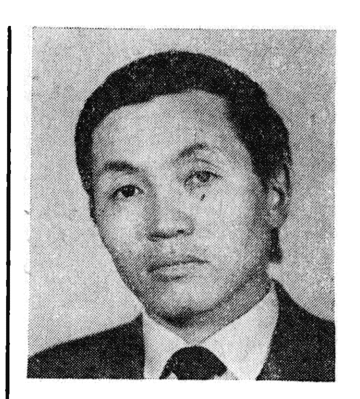
Die eingereichte Dissertation wurde 1986 mit dem Prädikat „cum laude" anerkannt, und Frau Dipl.-Ing. *M. Kießling* wurde postum der akademische Grad „Dr.-Ing." verliehen. msr 8592

## Entwurf und Implementation eingebetteter Mikrorechnersteuerungen insbesondere für die Lebensmittelindustrie

In der Dissertation werden der Entwurf und die Implementation eingebetteter, koordinierter Steuerungen für Maschinen und Maschinenkomplexe in der Lebensmittelindustrie betrachtet.
Die Zielstellung bestand darin, durch Simulation sowohl die Richtigkeit einer speziellen Prozeßstruktur nachzuweisen als auch eine neue allgemeine Methodik zur Beschreibung eines Entwurfs einer hierarchischen Steuerungsprozeßstruktur und dessen Implementation in GPSS/SIMDIS-2 auf ESER und im Assembler auf U 880 zu erproben.
Die Grundlage des Strukturentwurfs ist die von *M. Engelien* und *H. Stahn* entwickelte „ARS-Technologie".
Die Steuerungs- und Basisprozeßeinheiten werden als determinierte abstrakte Automaten behandelt. Dabei ist die koordinierte Auftragshierarchie von abstrakten Automaten theoretische Grundlage.
Der experimentelle Nachweis der Richtigkeit und Koordinierbarkeit der Steuerungsprozeßstruktur für eine Einschlagmaschine zusammen mit dem gesteuerten Prozeß wird simuliert. Dabei werden zwei Varianten der Implementation diskutiert. Die simulierte Steuerungsprozeßstruktur wird mit Hilfe der Basissoftware (Assembler U 880) implementiert.
Ein Entwicklungsablauf einer eingebetteten koordinierten Steuerung kann folgendermaßen aussehen, wenn die Prozeßeinheiten als abstrakte Automaten betrachtet werden und jeder abstrakte Automat mittels Zustandsgraph beschrieben wird:

- Prozeßanalyse und Systemsynthese gemäß der ARS-Technologie
- Entwickeln der Zustandsgraphen für jede Steuerprozeßeinheit auf der Basis der festgelegten Applikation-Layer-Protokolle (A-Protokoll). Entwickeln der zugehörigen Automatentabellen einschließlich ihrer Kodierung
- Simulative Verifikation von Prozeßstrukturen
- Implementation und Testung der Datenstrukturen der Automatentabellen auf dem Zielrechner.

*Shantschiwyn Daschdorsh* wurde am 20. März 1949 im Bezirk Zawchan (Mongolische VR) geboren. Er studierte von 1967 bis 1973 am Kiewer Polytechnischen Institut in der Fachrichtung Elektronische Datenverarbeitungsanlagen (EDVA).



Ab 1973 arbeitete er als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl Elektrotechnik und Elektronik der Staatlichen Universität Ulan-Bator. Von 1976 bis 1980 arbeitete er als Leiter des Rechenlabors der Universität Ulan-Bator. Von 1980 bis 1983 war er am Lehrstuhl Automatik und Elektronik des Polytechnischen Institut Ulan-Bator tätig.
Im September 1983 begann er eine Aspirantur am WB Automatisierte Informationssysteme der Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden, die im September 1986 endete.
Dissertation A an der Fakultät für Elektrotechnik und Elektronik der TU Dresden. Dresden, 25. September 1986.

Doktorand: Dipl.-Ing. *Sh. Daschdorsh*
Vorsitzender der Prüfungskommission:
Prof. Dr. rer. oec. *D. Schubert*
Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. *H. Stahn*
Doz. Dr. sc. techn. *P. Kaps*
Doz. Dr.-Ing. *G. Bleisch*

msr 8593

## Fuzzysteuerung von verfahrenstechnischen Prozessen mittels Beratungsrechner am Beispiel der An- und Abfahrsteuerung von Pyrolyseöfen

Gegenstand der Dissertation ist die Entwicklung einer Strategie für die Fuzzysteuerung und -modellierung komplexer verfahrenstechnischer Prozesse mittels Beratungsrechner.
Für den Entwurf der Modelle und Beratungsalgorithmen werden die Erfahrungen des Bedienungspersonals genutzt. Hierbei ist man im hohen Maße mit linguistischen Beschreibungen konfrontiert, deren linguistische Werte keine eindeutige Zuordnung zu Prozeßwerten gestatten. Die hieraus resultierenden theoretischen Probleme, insbesondere zur Berechnung von Fuzzyrelationen aus linguistischen Implikationen, wurden in der Dissertation mit folgenden Zielen untersucht:

- Entwicklung eines durchgängigen Entwurfsverfahrens für Fuzzysteueralgorithmen
- Sicherung der Existenz einer Lösung für Fuzzyrelationsgleichungen
- Berechnung von Fuzzyrelationen geringer Mächtigkeit.

Die erhaltenen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Durch Expertenbefragungen werden linguistische Implikationen ermittelt. Den Werten der linguistischen Variablen werden Fuzzymengen zugeordnet. Zur Beschreibung der Beziehungen zwischen den Fuzzymengen dienen Fuzzyrelationen. Die Berechnung des Outputs erfolgt mittels einer Kompositionsoperation.
- Aus jeder „fuzzifizierten" linguistischen Implikation werden Grenzrelationen berechnet. Die zum Relationsgleichungssystem gehörige Fuzzyrelation kann jeden beliebigen Wert zwischen der oberen und einer unteren Grenzrelation annehmen. Durch Anwendung einer bijektiven Abbildung von der Menge aller unteren Grenzrelationen auf die Menge ihrer zugeordneten Matrizen erreicht man eine speicherplatzminimale Rechnerimplementierung des Algorithmus.
- Aus den zu jeder Implikation gehörigen Grenzrelationen werden Systemrelationen berechnet. Dabei muß die Existenz des Relationsgleichungssystems gesichert werden. Hierfür wurde eine Modifikationsprozedur entwickelt, die es gestattet, mittels

einer Fuzzymenge die Existenz einer modifizierten Systemrelation zu sichern.
- Werden für die untersuchten Systemklassen die verwendeten Zugehörigkeitsfunktionen durch Forderung von Monotonieeigenschaften eingeschränkt, können für sog. relativierte linguistische Implikationen Relationen mit wesentlich geringerer Kardinalzahl berechnet werden. Dadurch wird die Implementierung von Systemrelationen für Multiinputsysteme auf Prozeßrechnern ermöglicht.
- Auf Grundlage der untersuchten theoretischen Probleme wurde ein Beratungsrechner für das An- und Abfahren von Pyrolyseöfen erstellt und in Versuchen wesentliche Verbesserungen des instationären Betriebes erzielt.

Dipl.-Ing. *Gerald Ahnert* (31) studierte von 1979 bis 1983 an der Technischen Hochschule Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen. Danach Forschungsstudent am WB Automatisierungstechnik der gleichen Sektion. Seit 1. September 1986 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Bauakademie der DDR, Institut für Technologie und Mechanisierung.

Dissertation A an der Fakultät für Naturwissenschaft und Technik der Technischen Hochschule Leipzig: Leipzig, 2. Oktober 1986.

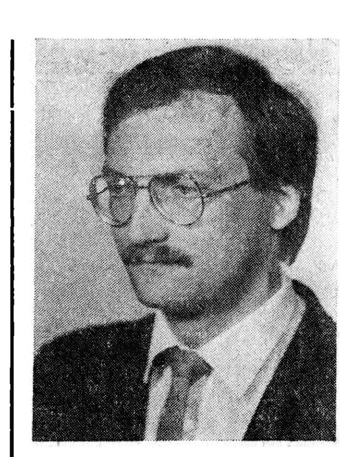
Doktorand: Dipl.-Ing. *G. Ahnert*

Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr. sc. techn. *H. Ehrlich*

Gutachter: Doz. Dr. sc. techn. Dr. rer. oec. *M. Locke*
Prof. Dr. sc. techn. *G. Brack*
Doz. Dr. sc. techn. *W. Schwarz*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TH Leipzig entliehen werden.

msr 8610 Dr.-Ing. *G. Ahnert*, Bauakademie der DDR, Institut für Technologie und Mechanisierung, WA 31, Plauener Straße, Berlin, 1092.



# msr TECHNISCHE INFORMATIONEN

## BASIC 5000

BASIC 5000 ist eine Implementierung des Basic-T-Compreters entsprechend [1] für das Programmiergerät URSATRON 5000. Die Implementierung erfolgte speziell für das Gerät URSATRON 5000.3 mit Anschluß für großen Bildschirm (2 Kbyte) und 64 Kbyte Test-RAM.
Eine Generierung für eine Bildschirmgröße von 1 Kbyte ist möglich, ebenso die Verwendung des Test-RAM von 48 Kbyte Größe. Dabei ist die Leistungsfähigkeit von BASIC 5000 jedoch eingeschränkt.
Die Implementierung unterstützt alle Geräte, die an das Programmiergerät angeschlossen werden können (Heimkassettenmagnetbandgerät für Ein- und Ausgabe, Lochbandleser, Lochbandstanzer, Fernschreiber als Drucker).
Das Programm BASIC 5000 hat eine Länge von ungefähr 15 Kbyte und umfaßt einen komfortablen Editor zur Eingabe und zur Korrektur der BASIC-Quellzeilen.
BASIC 5000 umfaßt entsprechend [1] folgende Kommandos und Funktionen:

- *Systemsteuerung*: RUN | NEW | BYE
- *Programmerstellung*: LIST | NUMBER | DELETE | MEM | NOMEM
- *Programmarchivierung*: SAVE | LOAD
- *Operatoren*: + | − | * | / | ** (für Potenzierung) .NOT. | .AND. | .OR. | .NAND. | .NOR. | .XOR. | = | < | > | <= | >= | <> |
- *Anweisungen*: LET | PRINT (mit PAGE | SKIP | COL | TAB | FIX | FLO | HEX | BIN) INPUT {„text“} ASGN (mit DAI | DAD | COI | COA und den Geräten KEY | PTR | PTP | MTR | MTW | LPR | SCR) GOTO | GOSUB | RETURN | ON | IF ... THEN ... ELSE FOR ... TO ... (STEP) ... NEXT DATA | READ | RESTORE | DIM | DEF | FNname | OUT | POKE | DOKE | CALL | OUTCHAR | STOP | END | REM | #
- *Funktionen*: ABS | ATN | COS | EXP | INT | LOG | SGN | SIN | SQR | RND | TOP | SIZE | LEN | VAL | ASC | PEEK | DEEK | IN | INCHAR | RIGHT | LEFT | MID | CHR | STR.

BASIC 5000 ist vom VEB KOSORA Dresden, Reisstr. 40, Dresden, 8045, im Zusammenhang mit [1] nachnutzbar und sofort auf dem Programmiergerät URSATRON 5000.3 lauffähig. Anpassungen auf die anderen Varianten des URSATRON 5000 können vereinbart werden. Die ausführliche Dokumentation ist über [1] zu beziehen.

### Literatur

[1] *Heyne, R.:* Basic-Compreter für U 880. rfe, Berlin 33 (1984) 3, S. 150.

msr 8607 *U. Walter*

## Listenprogramm

Der VEB KOSORA ist ein Betrieb des Rationalisierungsmittelbaus. Für die innerbetriebliche Nutzung in der Abteilung technische Konstruktion, MSR, wurde ein Listenprogramm entwickelt, das die Konstruktionsarbeit erleichtern helfen soll.
Das Programm ist so aufgebaut, daß der Benutzer vom Programmanfang bis Programmende menügestützt geführt wird. Dabei werden ihm alle Hilfsmittel angeboten, die für die Listenerstellung, ihre Manipulation und Modifizierung notwendig sind. Am Ende eines Programmlaufes steht eine auf Diskette abgelegte Datei, die jederzeit weiterbearbeitet und ausgedruckt werden kann.
Das Listenprogramm ist auf einem Bürocomputer A 5130 erstellt worden und läuft unter dem Betriebssystem SCP. Es belegt im Hauptspeicher etwa 28 Kbyte für den Objektkode und etwa 5 Kbyte für Daten. Im Betrieb benötigt es standardmäßig 2 Diskettenlaufwerke; LW A für die Programmdiskette und LW B für die Arbeits- bzw. Datendiskette. Ein Bildschirm mit 2 Kbyte Auflösung bringt die Komfortabilität der Bearbeitung im Dialogbetrieb voll zur Geltung.
Spezielle Ausführungsformen für die innerbetriebliche Rationalisierung des Entwurfs- und Konstruktionsprozesses für Automatisierungsanlagen sind u. a. zur Zeit:

- Anschlußliste nach TGL 16085/04
- Stückliste (beschreibbare Eingabe-/Ausgabemaske)
- MSR-Stellenliste für binäre Steuerungen in Anlehnung an die TGL 33247
- Schnittstellenliste (Liste Ein-/Ausgänge, Liste Übergabestellen).

Das Programm kann vom VEB KOSORA, Reisstr. 40, Dresden, 8045, nachgenutzt werden. Dabei wird eine den Wünschen des Interessenten bezüglich Bildschirmmaske und Druckbildgestaltung entsprechende, in den Grenzen der wählbaren Programmparameter (siehe Dokumentation) modifizierte Objektdatei zur Verfügung gestellt.

Tafel 1. Anschlußliste

| lfd. Nr. | Kabeltyp | Farbe | Führung | Pot. Nr. | Techn. Bez. | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | NHYY 37/1 | sw | 2:X1:P —1:S1 | P | | Verbin- |
| 2 | NHYY 37/1 | sw | 2:X1:P —1:S1 | P | | dung |
| 3 | NHYY 37/1 | sw | 2:X1:N —1:H1 | N | | Schalt- |
| 4 | NHYY 37/1 | sw | 2:X1:N —1:H1 | N | | schrank |
| 5 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:101—1:H1 | 101 | | Ebene 2— |
| 6 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:102—1:H2 | 102 | | Ebene 1 |
| 7 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:103—1:H3 | 103 | | |
| 8 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:104—1:H4 | 104 | | |
| 9 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:105—1:H5 | 105 | | |
| 10 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:106—1:H6 | 106 | | |
| 11 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:107—1:H7 | 107 | | |
| 12 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:108—1:H8 | 108 | | |
| 13 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:109—1:H9 | 109 | | |
| 14 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:110—1:H10 | 110 | | |
| 15 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:111—1:H11 | 111 | | |
| 16 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:112—1:H12 | 112 | | |
| 17 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:113—1:H13 | 113 | | |
| 18 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:114—1:H14 | 114 | | |
| 19 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:115—1:H15 | 115 | | |
| 20 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:116—1:H16 | 116 | | |
| 21 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:119—1:S1/1 | 119 | | |
| 22 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:120—1:S9/1 | 120 | | |
| 23 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:121—1:S10/1 | 121 | | |
| 24 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:122—1:S1 | 122 | | |
| 25 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:122—1:S1 | 122 | | |
| 26 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:123—1:S2/1 | 123 | | |
| 27 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:123—1:S4/1 | 123 | | |
| 28 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:125—1:S21 | 125 | | |
| 29 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:126—1:S21 | 126 | | |
| 30 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:128—1:S22 | 128 | | |
| 31 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:129—1:S22 | 129 | | |
| 32 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:131—1:S23 | 131 | | |
| 33 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:132—1:S23 | 132 | | |
| 34 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:134—1:S24 | 134 | | |
| 35 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:135—1:S24 | 135 | | |
| 36 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:137—1:S25 | 137 | | |
| 37 | NHYY 37/1 | sw | 2:X2:138—1:S25 | 138 | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VEB KOSORA Dresden | Anschlußliste | Zeichnungsnummer 001.2-910.2-04=85 | Bearbeiter Simm | Datum 08.01.87 Blatt 1 |

Tafel 2. Ersatzteilliste

| lfd. Nr. | Stck. Zahl | Benennung | Sachnummer | Werkstoff | Halbzeug Rohmasse Modell-Nr. | TGL Nr. | Rohmasse [kg] | Bemerk. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | Relais 2RH01 24 V | Pl.-Nr. 731505000 | | | 26047 | | Relog |
| 2 | 2 | Relais 2RG02 24 V | Pl.-Nr. 731080000 | | | 26047 | | Relog |
| 3 | 3 | Stoesseltaster A31 | 1363391185003118 | | | 33573 | | |
| 4 | 5 | Signalkleinlampe 24 V | 1375137002375368 | | | 10447 | | |
| 5 | 2 | Schaltkontakt KU 1H | 1363391206106037 | | | | | |
| 6 | 2 | Initiator 2.3701/01 | | | | | | EAW |
| 7 | 2 | Motor KMR 71 K2 | | | | | | VEM IM 1001 |
| 8 | 1 | Motor KMR 80 G2 | | | | | | VEM IM 1001 |
| 9 | 25 m | Kabel NHYYI | 1365617205283957 | | 3× 0,75 mm² | 21805 | | |
| 10 | 1 | Montageplatte | | Hp 2061.5 | Tafel 4×240 ×120 | 12242 | 0.5 | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VEB KOSORA Dresden | Benennung Ersatzteilliste | Stücklistennummer 001.2-920.1-04St | Bearbeiter Simm | Datum 08.01.87 Blatt 1/1 |

**Dokumentation LISTENPROGRAMM**

Mit dem Programm LISTENPROGRAMM steht dem Benutzer ein Werkzeug zur Verfügung, mit dessen Hilfe eine Liste erstellt, geändert, gedruckt, abgespeichert und gelöscht werden kann.

Für die Bearbeitung werden 2 Diskettenlaufwerke benötigt. Die Programmdiskette wird in LW A eingelegt; die Arbeitsdiskette in LW B.

Nach dem Einschalten des Rechners und der Befehlseingabe ⟨Programmname⟩ meldet sich das Programm im Grundmenü. Hier gibt es 4 Alternativen:

1) Bildschirmarbeit (a)
2) Drucken einer Datei (d)
3) Löschen einer Datei (l)
4) Programmaustritt (p).

Nachdem das entsprechende Kürzel eingegeben wurde, verzweigt das Programm in den entsprechenden Programmteil.
Bei Auswahl des Modus „Bildschirmarbeit" erfolgt die Abfrage, ob die Datei vorhanden ist. Es ist mit ‚j' oder ‚n' zu antworten.
Danach wird in den Modi 1 bis 3 ein Dateiname verlangt. Dieser ist einzugeben und darf 8 alphanumerische Zeichen lang sein. Nach 3maliger falscher Eingabe wird erneut abgefragt, ob die Datei vorhanden ist oder nicht. Weiter wie oben.
Im Modus „Bildschirmarbeit" erscheint dann eine Maske der Liste, und in den untersten 3 Bildschirmzeilen sind die Optionen angegeben, nach denen bearbeitet werden kann. Die Optionen sind: Eingeben (e), Anzeigen (a), Beenden (b), Ändern (c), Einfügen (i), Löschen (l). Die Abfragen in den einzelnen Bearbeitungsteilen sind selbsterklärend und bedürfen keiner näheren Erläuterung.

Der Modus „Drucken einer Datei" erwartet vom Bearbeiter 3 Eingaben:

1. die Zeichnungsnummer, für die 18 Zeichen reserviert worden sind
2. den Namen des Bearbeiters mit 15 Zeichen
3. das Tagesdatum in der Form ‚dd.mm.yy'.

Diese Eingaben sind optional.
Im Modus „Löschen einer Datei" wird die Bestätigung der Abfrage, ob eine gesamte Datei gelöscht werden soll, in Großbuchstaben erwartet, um ein versehentliches Löschen auszuschalten.
Schließlich wird im Modus „Programmaustritt" das Listenprogramm ordnungsgemäß beendet und auf die Betriebssystemebene zurückgekehrt.
In den Tafeln 1 und 2 findet man Beispiele für mit „LISTENPROGRAMM" erzeugte Listen.

msr 8657 *C.-D. Simm*

# Meßverstärkersystem M 61

Das System M 61 besteht zur Zeit aus dem Grundgerät M 61 K zur Einschubaufnahme und den drei Verstärkereinschüben M 61 D, M 61 L, M 61 W.

*M 61 D*: Differenzverstärker für Gleich- und Wechselspannungen
- hohe Eingangsimpedanz, Bandbreite und Gleichtaktunterdrückung
- Anschluß von Wandlern/Sensoren mit und ohne Hilfsenergie

*M 61 L*: Ladungsverstärker für tiefst- und niederfrequente Vorgänge
- Anschluß kapazitiver Wandler (piezoelektrischer Aufnehmer)
- Messung kleinster Kapazitäten

*M 61 W*: Wechselspannungsverstärker
- hohe Eingangsimpedanz
- hohe Bandbreite
- geringstes Eigenrauschen.

Die Bezeichnung erfolgt durch Kombinieren der jeweiligen Buchstaben. M 61 WK bedeutet also Einschub M 61 W im Grundgerät M 61 K.
Die jeweilige Verstärkung der Einschübe wird an deren Steckverbinder binär kodiert ausgegeben. Die Verstärker zeichnen sich durch eine saubere Impulswiedergabe und geringen Klirrfaktor aus. Zur Signalauswertung im Frequenzbereich 1 Hz ... 200 kHz ist das Effektiv- und Spitzenwert-Voltmeter VM 70 geeignet.

### Grundgerät M 61 K

Das Grundgerät ist für Netzanschluß 220 V Wechselspannung ausgelegt. Das Gehäuse und die Kleinspannungsseite sind gegen das Netz schutzisoliert. Das M 61 K enthält folgende Funktionen:
- Stromversorgung
- Umschaltung der unteren Grenzfrequenz
- Übersteuerungsanzeige
- Verstärkerausgang.

### Differenzverstärkereinschub M 61 D

Der M 61 D (Bild 1) ist ein Präzisionsvorverstärker mit hohem Eingangswiderstand für die genaue Auswertung von Gleich- und Wechselspannungen. Infolge seiner Differenzeingangsstufe nach dem Prinzip des Instrumentationsverstärkers kann er auch bei hochohmigen oder erdfreien Quellen als invertierender, nichtinvertierender oder Differenzverstärker verwendet werden. Einsatzgebiete für den M 61 D sind die elektrische Messung mechanischer Größen (Schwingung, Dehnung), die Akustik, Regelungstechnik, Medizinelektronik. Darüber hinaus ist er als Oszillografenvorverstärker und Nullpunktindikator verwendbar.
Es können die verschiedensten Wandler physikalischer Größen in elektrische Spannungen, z. B. Dehnungsmeßstreifen, piezoresistive Aufnehmer oder Temperaturfühler (B 511 N, Pt 100), angeschlossen werden. Als Hilfsenergie hierfür steht eine Speisespannung von 5 V zur Verfügung. „Krumme" Wandlerfaktoren können 3stufig digital eingestellt werden, so daß beim Kalibrieren der Meßkette nur ganzzahlige Zehnerpotenzen auftreten. Die Nullpunkteinstellung ermöglicht das Kompensieren der Offsetspannungen infolge von Unsymmetrien oder das Einstellen einer Grundauslenkung eines angeschlossenen Schreibers bis zu ± 250 mV (auf den Eingang bezogen). Der Nullabgleich wird durch die Nullpunktanzeige mit drei Leuchtdioden kontrolliert.
Zusätzliche Kontrollanzeigen signalisieren eine zu hohe Gleichtakteingangsspannung und eine Überlastung der Wandlerspeisespannung.
Die wichtigsten Daten des M 61 D sind:

| | |
|---|---|
| – Verstärkung | −40 ... +60 dB (0,01 ... 1000) |
| – Eingangswiderstand | 2 × 500 MΩ |
| – Gleichtaktunterdrückung | 100 dB |
| – Frequenzbereich für −3 dB umschaltbar | 0 Hz ... 400 kHz<br>3 Hz ... 400 kHz |
| Frequenzbereich für −0,5 dB umschaltbar | 0 Hz ... 150 kHz<br>10 Hz ... 150 kHz |
| – Wandlerspeisespannung | 5 V/60 mA |
| – Verstärkungsfehler je nach Bereich | max. 0,1 ... 0,5% |
| – Eigenstörspannung, bei 60 dB auf den Eingang bezogen | 0,5 Hz ... 500 kHz 30 µV<br>0,5 Hz ... 20 Hz : 0,8 µV |

### Ladungsverstärkereinschub M 61 L

Der M 61 L (Bild 2) wandelt elektrische Ladungen in proportionale Spannungen um und ist für den Anschluß kapazitiver Wandler, z. B. piezoelektrischer Beschleunigungs- und Druckaufnehmer, vorgesehen. In Verbindung mit einem Tongenerator und Spannungsmeßgerät (VM 70 oder Digitalvoltmeter) können kleinste Kapazitäten der Größenordnung hundertstel Picofarad bis einige Nanofarad gemessen werden.

Mit den Beschleunigungsaufnehmern der Typenreihen KB, KD, KS sind mechanische Schwingungen im Bereich von 0,1 Hz bis 50 kHz in einem weiten Amplitudenbereich meßbar. Dabei darf infolge des Ladungsverstärkerprinzips die Entfernung vom Wandler zum Meßgerät einige hundert Meter betragen. Zur Meßwertanzeige ist bei Frequenzen ab 1 Hz auch hier das Effektiv- und Spitzenwert-Voltmeter VM 70 geeignet.
„Krumme" Übertragungsfaktoren der Wandler können an einem Wendelpotentiometer eingestellt werden, so daß beim Kalibrieren der Meßkette nur ganzzahlige Zehnerpotenzen auftreten.

Der Außenleiter des Eingangs (Wandlergehäuse) kann zwischen den Betriebsarten „geerdet" und „schwimmend" umgeschaltet werden. Im letzteren Fall unterdrückt ein interner Differenzverstärker Störspannungen auf dem Außenleiter (Gleichtaktspannungen). Werden diese zu groß, so leuchtet eine Anzeigediode.
Die wichtisten Daten des M 61 L sind:

| | |
|---|---|
| – Verstärkung | 0,01 ... 1000 mV/pC |
| – Frequenzbereich für −3 dB umschaltbar | 0,1 Hz ... 50 kHz<br>3 Hz ... 50 kHz |
| – Frequenzbereich für −0,5 dB umschaltbar | 0,3 Hz ... 20 kHz<br>0,3 Hz ... 20 kHz<br>10 Hz ... 20 kHz |
| – maximal verarbeitbare Eingangsladung | 100 000 pC |
| – äquivalente Eingangsstörladung im empfindlichsten Bereich | 3 Hz ... 50 kHz<br>$8 \cdot 10^{-3}$ pC |
| – Verstärkungsfehler | 3% |

Bild 1

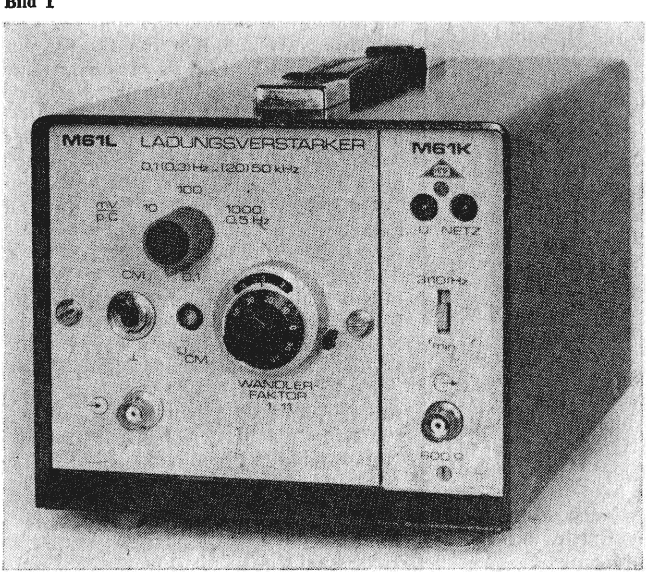
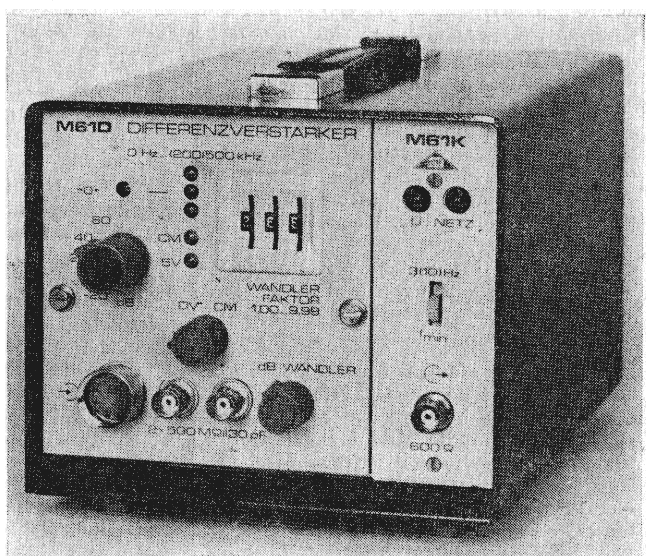



Bild 2



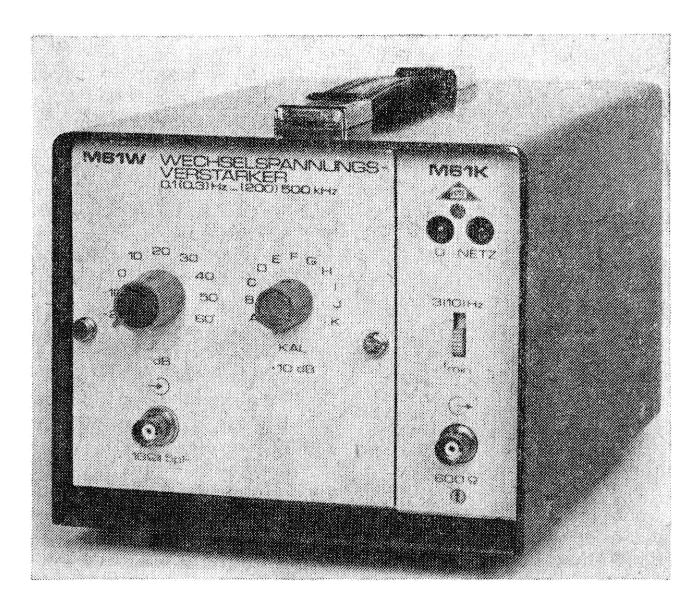



Bild 3

**Wechselspannungsverstärkereinschub M 61 W**

Der M 61 W (Bild 3) dient der genauen Verstärkung von Wechselspannungen vom Tiefstfrequenz- bis in den unteren Hochfrequenzbereich.
Aufgrund seiner guten Eigenschaften kann der M 61 W in Laboratorien, Prüffeldern und bei industriellen Meßaufgaben in der Vibrationsmeßtechnik, Akustik, Regelungstechnik, Medizinelektronik und überall dort, wo auch kleinste Signale ausgewertet werden müssen, als Meßverstärker und Impedanzwandler verwendet werden. Beispiele sind Messungen an Magnetköpfen oder kapazitiven Quellen.

Die wichtigsten Daten des M 61 W sind:

| | |
|---|---|
| – Verstärkung | –20 ... +70 dB (0,1 ... 3200) |
| – Eingangswiderstand | 1 GΩ |
| – Eingangskapazität | 5 pF |
| – Frequenzbereich für –3 dB umschaltbar | 0,1 Hz ... 500 kHz<br>3 Hz ... 500 kHz |
| Frequenzbereich für –0,5 dB umschaltbar | 0,3 Hz ... 200 kHz<br>10 Hz ... 200 kHz |
| – Störspannung, bei 60 dB auf den Eingang bezogen | 3 Hz ... 500 kHz: 4 μV<br>3 Hz ... 30 kHz: 1,5 μV<br>0,1 Hz ... 10 Hz : 1 μV |

| | |
|---|---|
| Hersteller: | VEB Metra Meß- und Frequenztechnik Radebeul im VE Kombinat Präcitronic |
| Technische Informationen: | VEB Metra, Cottbuser Str. 29, Dresden, 8023; Tel. 5987487 |
| Vertrieb: | Maschinenbauhandel Dresden |
| Exporteur: | Robotron Export-Import, Allee der Kosmonauten 24, Berlin, DDR-1140. |

msr 8634 *G. Skribanowitz*


HISTORISCHES

## 100 Jahre Physikalisch-Technische Reichsanstalt/ Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde naturwissenschaftliche Forschung überwiegend von Professoren in ihren Mußestunden, von begüterten Privatgelehrten und in den Laboratorien der „Fabriken" betrieben. Doch schon bald reichten die begrenzte Freizeit der Universitätslehrer, die Mittel der Privatgelehrten und die Apparaturen der Fabriklaboratorien nicht mehr aus, um Messungen mit der Genauigkeit durchzuführen, die nötig war, um weitere wesentliche Fortschritte zu erzielen.

Der Industrielle *Werner von Siemens* und der Physiker *Hermann von Helmholtz* erkannten schon früh die Notwendigkeit, die Forschung staatlich zu koordinieren und zu fördern und damit die Weiterentwicklung von Wissenschaft und Technik zu sichern. Sie schlugen deshalb die Errichtung eines staatlichen Instituts für die „experimentelle Förderung der exakten Naturwissenschaften und der Präzisionstechnik" vor. Hier sollten die Wissenschaftler, ausgestattet mit den notwendigen finanziellen Mitteln, frei von Lehrverpflichtungen und unabhängig von privatwirtschaftlichen Zielsetzungen arbeiten.

Der politische Kampf um die Verwirklichung ihrer Idee dauerte viele Jahre. Im März 1887 bewilligte der deutsche Reichstag dann die Mittel zur Errichtung einer „Physikalisch-Technischen Reichsanstalt" (PTR). Im Oktober 1887 konnte die Arbeit zunächst in gemieteten Räumen, kurze Zeit später auf dem von *Siemens* geschenkten Gelände in Berlin-Charlottenburg aufgenommen werden. Als Präsident wurde *Hermann von Helmholtz* berufen.
Die PTR war das erste Staatsinstitut dieser Art. Nach Studien britischer Fachleute in der PTR wurden 1900 das National Physical Laboratory (NPL) in London und 1901 ebenfalls nach dem Vorbild der PTR das National Bureau of Standards (NBS) in Washington errichtet.
1898 übernahm die PTR die ersten gesetzlichen Aufgaben. Zunächst war sie für die Darstellung und Bewahrung der elektrischen Einheiten (Volt, Ampere, Ohm) zuständig; 1923, nach Eingliederung der Reichsanstalt für Maß und Gewicht, wurde die PTR für alle gesetzlichen Einheiten verantwortlich und führte die technische Oberaufsicht über Eich- und Prüfämter.
Gegen Ende des zweiten Weltkrieges wurden die meisten Laboratorien der PTR aus Berlin verlagert. Nach dem Kriege waren die Mitarbeiter mit ihren Apparaturen zunächst in alle Winde zerstreut. Als die britische Militärregierung einen Teil der ehemaligen Forschungsanstalt für Luftfahrt in Braunschweig zur Verfügung stellte, fanden sie sich mit ihren Geräten hier wieder zusammen und bildeten die Keimzelle der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). Der in Berlin (West) verbliebene Teil der PTR nahm nach dem Krieg zunächst als Physikalisch-Technische Reichsanstalt Berlin-Charlottenburg in den alten Gebäuden die Arbeit wieder auf. 1953 wurde sie als Institut Berlin der PTB Braunschweig angeschlossen.
Außer den metrologischen Aufgaben der alten Reichsanstalt übernahm die Bundesanstalt auch Teilgebiete der Sicherheitstechnik (Transport und Aufbewahrung von brennbaren Flüssigkeiten, explosionsgeschützte Betriebsmittel, ziviles Beschußwesen), die früher von der ehemaligen Chemisch-Technischen Reichsanstalt betreut worden waren. Mit der Entwicklung der Kerntechnik erhielt sie auch Aufgaben im Bereich der nuklearen Sicherheitstechnik (Strahlenschutz, Transport und Aufbewahrung von Kernbrennstoffen und Endlagerung radioaktiver Abfälle).
Die wachsenden Anforderungen an die Vielfalt und Genauigkeit der Meßmethoden bedingen eine immer engere internationale Zusammenarbeit. Die Gremien für diese Zusammenarbeit sind vor allem das Internationale Komitee für Maß und Gewicht (CIPM) und das Internationale Komitee für Gesetzliches Meßwesen (CIML) mit ihren beratenden Komitees und den technischen Arbeitsgruppen, in denen die PTB aktiv tätig ist. Daneben hilft die Bundesanstalt im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit Entwicklungsländern beim Aufbau eines eigenen staatlichen Meßwesens.
Sowohl die PTR als auch die PTB leisteten bedeutende wissenschaftliche Beiträge. Zwei davon wurden mit dem Nobelpreis ausgezeichnet: 1911 erhielt *Willy Wien* für seine Strahlungsgesetze, die zur Quantentheorie von *Max Planck* führten, und 1954 erhielt *Walther Bothe* für seine Arbeiten zur Kernphysik den Nobelpreis für Physik.

msr 8636 (Pressemitteilung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt)

**Handbuch der Systemtheorie.** Herausgeber: *G. Wunsch.* Berlin: Akademie-Verlag 1986. 502 Seiten, 180 Bilder, 18 Tafeln, 95,— M.

Unter Systemtheorie verstehen die Autoren, die acht namhaften Wissenschaftler *G. Wunsch, R. Unbehauen, H. Schreiber, M. Locke, M. Gössel, D. Bochmann, H. Strobel* und *G. Schwarze,* die theoretischen Methoden einer allgemeinen Systembeschreibung, die „für die Lösung konkreter Aufgaben der Analyse (Systemidentifikation), der Synthese (Entwurf) und der Prozeßmodellierung (Systemsimulation)" genutzt werden können. Dazu wurde das Buch in folgender Weise gegliedert: 1. Systemtheorie — Prinzipien und Systemklassen (Zeitsysteme, Dynamische (Zeit-)Systeme, Systemklassen), 2. Differentialsysteme (Lineare Systeme mit stetiger Zeit, Lineare Systeme mit diskreter Zeit, Nichtlineare Systeme), 3. Endliche Systeme (Lineare Automaten, Automaten), 4. Anwendungen (Systemidentifikation, Systemsimulation). Als Ergänzungen folgen ein Symbol- und ein Sachwortverzeichnis. Das Buch ist außerordentlich breit angelegt und faßt die Ergebnisse der Arbeiten der Autoren und anderer Experten des Fachgebietes, die man sich sonst aus früheren Veröffentlichungen mühsam zusammentragen müßte, in vorzüglicher Weise zusammen. Hierin und in der Einbeziehung des Abschnittes „Systemsimulation", der darstellt, wie der moderne Digitalrechner als „Systemstellvertreter" genutzt werden kann, indem mit Hilfe entwickelter Softwaresysteme und vom Nutzer gemachter Angaben ein die gewünschten Daten produzierendes Prozeßmodell entsteht, liegt meiner Meinung nach der uneingeschränkte Wert des Buches. Beim Studium des Buches ist allerdings nicht klar geworden, warum bei einem so breit angelegten Werk nicht auch stochastische Systeme gründlich in die Darstellung einbezogen worden sind (zumal man ja an einigen Stellen im Buch um ihre Anwendung nicht herumgekommen ist). Das hätte zur Abrundung sicherlich ebenso beigetragen wie eine etwas tiefgreifendere Darstellung der Parameterschätzverfahren im Abschnitt Systemidentifikation (außer der Methode der kleinsten Quadrate gibt es doch mindestens noch einige darauf aufbauende anwendungsfähige Verfahren, wie Hilfsvariablenmethoden, oder die Maximum-Likelihood-Schätzung). Ungeachtet dieser Hinweise handelt es sich um ein bemerkenswertes Buch, das sicher einen dankbaren Leserkreis in den Reihen der System- und Automatisierungstechniker finden wird.

B 2215 *D. Werner*

**Optimaldemodulation.** Analyse/Dimensionierung von Phase-lock-Demodulatoren. Band 24 der „Berichte zur Nachrichtentechnik". Von *M. Göller.* Berlin: Institut für Nachrichtentechnik 1986. 160 Seiten, 48 Bilder, 14,40 M.

Der Autor hat sich die Aufgabe gestellt, das Problem der optimalen Demodulation frequenzmodulierter Signale mit Phasenregelkreisen (Phase-locked Loop, PLL) ingenieurmäßig zu behandeln. Er möchte damit dem Entwicklungsingenieur eine Hilfe für den Einsatz signaltheoretisch optimaler Demodulationsverfahren geben und diesen in die Lage versetzen, den Gebrauchswert der von ihm zu entwickelnden Anlagen zu erhöhen. Nicht zuletzt soll das Buch die Einarbeitung in die Problematik der PLL-Technik erleichtern.

Das Buch ist in fünf Abschnitte gegliedert. Der der Einleitung folgende Abschnitt „Allgemeine Eigenschaften des PLL" informiert über die Hauptbaugruppen, die Funktion und die notwendigen Eigenschaften des PLL. Die Eigenschaften des PLL können durch eine nichtlineare Integro-Differentialgleichung beschrieben werden, die nicht analytisch lösbar ist. Die oft benutzte lineare Näherung ermöglicht zwar eine einfache Analyse des PLL, man erhält aber dann falsche Ergebnisse, wenn das Eingangssignal verrauscht ist. Der PLL ist dann ein nichtlineares stochastisches System, das nicht mehr durch eine lineare Näherung beschrieben werden kann. Im Abschnitt 3 „Synthese von Optimaldemodulatoren" werden die Voraussetzungen optimaler Demodulation genannt, und es wird der Nachweis erbracht, daß der PLL die gestellte Aufgabe optimal löst. Der Abschnitt 4 ist der „Analyse und Optimaldimensionierung des PLL-Demodulators" gewidmet. Im Abschnitt 5 untersucht der Autor den Einfluß eines Bandpaßbegrenzers auf die Signal-Rausch-Eigenschaften des PLL-Demodulators.

Dem Autor ist es gelungen, die Problematik der Optimaldemodulation mittels PLL klar und folgerichtig darzustellen. Zahlreiche praxisbezogene Diagramme veranschaulichen die Ergebnisse der Arbeit. Das Buch kann allen, die sich mit der Problematik des PLL — nicht nur auf dem Gebiet der Optimaldemodulation, sondern auch zur Lösung anderer Aufgabenstellungen — tiefgründig vertraut machen wollen, sehr empfohlen werden. Die Broschüre kann vom Institut für Nachrichtentechnik, Edisonstr. 63, Berlin, 1160, zum o. g. Preis bezogen werden.

B 2183 *K.-H. Rumpf*

**Instandhaltung von Anlagen der Elektroenergieversorgung.** Von *H. Spanneberg.* Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1986. 203 Seiten; 58 Bilder, 25 Tafeln, 3 Anlagen, 7,— M.

Das Lehrbuch zur Anlageninstandhaltung wendet sich an Lehrlinge und Werktätige, die in der Energieversorgung zum Facharbeiter ausgebildet werden und schließt eine Lücke im Literaturangebot. Das Buch erläutert neben grundlegenden Problemen der Instandhaltung elektrotechnischer Anlagen ausgewählte Beispiele der Instandhaltung in Kraftwerken, Umspannwerken, in Energieverteilungsnetzen und von Meß- und Steuerungseinrichtungen sowie von Automatisierungsanlagen der Energieversorgung. Zunächst werden in allgemein verständlicher Form die wichtigsten Grundlagen der Energieversorgungssysteme sowie deren Zuverlässigkeit und mögliche Störungsursachen vorgestellt und Grundforderungen zur Organisation bzw. Technologie der planmäßigen Instandhaltung und zum Arbeitsschutz beim Arbeiten an elektrotechnischen Anlagen für in der Ausbildung befindliche Werktätige beschrieben. In den folgenden Hauptabschnitten werden dagegen spezielle Probleme der Instandhaltung behandelt und oft in Instandhaltungsschemen dargestellt. Zu diesen Problemkreisen gehören:

- die in Kraftwerken in elektrotechnischen Hauptanlagen, Eigenbedarfs- und Netzersatzanlagen eingesetzten Einrichtungen (ISA 2000, Umschalteinrichtungen, Schnellstartgeneratoren und deren Erregungs-/Entregungseinrichtungen) und sicherheitstechnische Maßnahmen
- die Primär- und Sekundäranlagen bzw. Anlagen für die Hilfs- und Nebenprozesse in Umspannwerken und die erforderlichen sicherheitstechnischen Maßnahmen zum Herstellen und Sichern des spannungsfreien Zustandes sowie die Unterweisungen zum Arbeiten
- elektrische Freileitungs-, Kabelnetze, Ortsnetzstationen und die notwendigen Maßnahmen für die planmäßige Generalinstandsetzung
- Steuerungs-, Schutz- und Meßeinrichtungen (Leitungs-, Transformatoren-, Anlagenschutz und deren Anzeigen, Verriegelungen, AWE und Umschaltautomatiken, Anzeige- und registrierende Meßgeräte) in Automatisierungsanlagen sowie sicherheitstechnische Maßnahmen, Prüftechnologien und Prüfprotokolle

Jeder Hauptabschnitt wird durch Übungsaufgaben und Kontrollfragen abgeschlossen, durch die der Lernende die Kenntnisse festigen und überprüfen kann. Das vorgestellt Buch kann als Bereicherung der Ausbildungsliteratur angesehen werden. An einigen Stellen wäre jedoch eine weitergehende technische Beschreibung der vorgestellten Einrichtungen und die Angabe der aktuellsten Vorschriften wünschenswert.

B 2186 *H. Kloust*

**Rechentechnik in robotertechnischen Systemen und flexibler automatisierter Produktion.** Von *I. N. Makarov* (Hrsg.). Moskau: Vysšaja škola 1986. 144 Seiten, 35 Bilder, 3 Tafeln.

Bei diesem vom sowjetischen Hochschulministerium bestätigten Lehrbuch für technische Hochschulen handelt es sich um den 4. Band einer neunbändigen Reihe „Robotertechnik und flexible automatisierte Produktion", die vom korrespondierenden Akademiemitglied *I. N. Makarov* herausgegeben wird. Behandelt werden Rechenanlagen in Sensorsystemen von Robotern, wobei Methoden und Algorithmen der Videoanalyse in der Robotertechnik und ihre programmtechnische Realisierung untersucht werden. Ein weiteres Kapitel ist der Anwendung der Rechentechnik in Steuerungssystemen sowie der Architektur und der Realisierung mit 8- und 16-bit-Technik gewidmet. Großen Um-

fang nimmt die Programmierung, d. h. ein Überblick über Methoden und Programmiersprachen für Roboter, ein. Dargelegt wird insbesondere die Sprache AL aber auch die Automatisierung der Programmierung von Robotern mit Hilfe solcher Systeme wie ROBEX. Weitere Beispiele sind das System zur interaktiven Programmierung und Modellierung IPRASS sowie das System zur grafischen Modellierung und Programmierung APROGRAF. Danach wird mit einem umfangreichen Kapitel zur Architektur von Mehrrechnersystemen der Übergang zur flexiblen Automatisierung geschaffen. Neben der Darlegung von Prinzipien zur Entwicklung lokaler Rechnernetze und ihrer Komponenten werden die Kenngrößen derartiger Netze analysiert. Ausführlich untersucht der Autor die Netze ETHERNET, CAMBRIDGE RING u. a. sowie die Modellierung derartiger Netze. Das abschließende Kapitel behandelt die Software für die flexible Automatisierung.

B 2227 *J.-A. Müller*

**Spieltheorie.** Von *N. N. Vorob'ev.* Moskau: Nauka 1985. 272 Seiten, 100 Bilder.

Dieses vom sowjetischen Hochschulministerium für die Fachrichtung „Ökonomische Kybernetik" empfohlene Lehrbuch zur Spieltheorie geht sicher im Stoffumfang weit über eine Lehrveranstaltung zu diesem Lehrgebiet hinaus. Es bietet somit dem Lehrenden eine reiche Auswahl für seine Lehrveranstaltung und ermöglicht dem Studierenden über die Lehrveranstaltung hinaus in dieses in den letzten Jahren aufgrund verschiedener Anwendungsprobleme vernachlässigte Gebiet einzudringen. Das Lehrbuch erfaßt die wesentlichen konzeptionellen, algorithmischen, methodologischen, methodischen und algorithmischen Aspekte. Weniger gründlich werden dagegen die Modellierung und ihre Anwendung und gar nicht alle mit der praktischen Anwendung zusammenhängenden Fragen informationeller, technischer, programmtechnischer und organisatorischer Art behandelt.
Eine durchgängige Orientierung auf ein mathematisches Ausgangsniveau der Studenten der Fachrichtung „Ökonomische Kybernetik", d. h. auf die Kenntnisse, die über Grundlagen der linearen Algebra, Analysis und Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung nicht hinausgehen, ermöglicht einem sehr breiten Leserkreis die Arbeit mit dieser Publikation.
Nach einer Einführung in nichtkooperative Spiele, optimale Strategien, Gleichgewicht u. a. Grundlagen werden im 1. Kapitel die Matrixspiele, im 2. Kapitel unendliche antagonistische Spiele, im 3. Kapitel nichtkooperative Spiele und abschließend im 4. Kapitel klassische kooperative Spiele behandelt.

B 2223 *J. Peters*

**Simulation bei der Struktursynthese komplizierter Systeme.** Von *A. D. Cvirkun, V. K. Akinfiev* und *A. V. Filippov.* Moskau: Nauka 1985. 173 Seiten, 31 Tafeln, 51 Bilder.

Mit wachsender Dimension und Kompliziertheit der Produktions- und Leitungsprozesse erhält die wissenschaftlich begründete Strukturwahl für komplizierte Systeme immer größere Bedeutung. Auf der Grundlage einer langjährigen wissenschaftlichen Erfahrung auf dem Gebiet der Anwendung der Simulation bei der Struktursynthese komplizierter Systeme betrachten die Autoren die Möglichkeit, Optimierungsmodelle mit der algorithmischen Modellierung und Simulation bei der Struktursynthese zu verbinden. Eine derartige Herangehensweise ermöglicht insbesondere, die Dynamik der Teilsysteme aber auch die Stochastik ihrer Wechselbeziehungen untereinander zu berücksichtigen.
Die im Buch entwickelte Methodologie, die enthaltenen Methoden und Modelle, haben sich bei der Lösung einer Vielzahl volkswirtschaftlicher Aufgaben, z. B. bei der Projektierung regionaler Transportsysteme, bei der Synthese automatisierter Steuerungssysteme von Flugkörpern u. a. bewährt.
Auf der Grundlage einer Methodologie zur Analyse und Synthese der Struktur komplizierter Systeme wird eine Herangehensweise mit Hilfe von Aggregation und Dekomposition zur Beschreibung und Synthese der Struktur von Systemen auf verschiedenen Detailliertheitsebenen entwickelt. Eine weitere Grundlage für die erforderliche Struktursynthese ist die Beherrschung der Prinzipien der Simulation und der grundlegenden Simulationssprachen, über die in der Publikation ein entsprechender Überblick enthalten ist.
Nur in den einfachsten Fällen gelingt es bei Berücksichtigung der Dynamik, die Struktur komplizierter Systeme auf analytischem Wege zu bestimmen. Die Simulation ermöglicht darüber hinaus, auch stochastische Wechselwirkungen zu erfassen. Damit entstehen Optimierungsaufgaben, in denen die Nebenbedingungen nicht analytisch, sondern algorithmisch vorgegeben sind. Im Buch werden Modelle und Methoden zur Struktursynthese mit nichtanalytisch vorgegebenen Beschränkungen behandelt und auf dieser Grundlage ein universelles System zur diskreten und stetigen Modellierung entwickelt. Anwendung findet diese Herangehensweise bei der Struktursynthese von verteilten Informations- und Steuersystemen sowie Transportsystemen.

B 2225 *K.-H. Winter*

**Applied Dynamics and CAD of Manipulation Robots.** Von *M. Vukobratović* und *V. Potkonjak.* Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo: Springer-Verlag 1985. 305 Seiten, 187 Bilder.

Die beiden jugoslawischen Autoren setzen mit diesem Band die Reihe „Wissenschaftliche Grundlagen der Roboter" mit den grundlegenden Methoden für die rechnergestützte Konstruktion der Dynamik von Robotern und deren Mechanik fort. Es ist vorwiegend für Forscher und Entwickler von Robotern oder solche Anwender gedacht, bei denen die Dynamik des Roboters eine besondere Rolle spielt, und natürlich für Studenten einschlägiger Fachrichtungen sowie für die postgraduale Ausbildung. Dazu werden die Bewegungsabläufe mathematisch beschrieben und an Beispielen veranschaulicht. Im Kapitel 1 werden generelle Ausführungen zu Robotersystemen gemacht und grundlegende Probleme des rechnergestützten Entwurfs von Maschinen beschrieben. Hierzu gehören auch notwendige Definitionen und Klassifikationen des Fachgebietes.
Im Kapitel 2 werden dynamische Analysen von Robotersystemen behandelt und der Algorithmus für eine dynamische Analyse angegeben. Die Manipulatoraufgaben unterschiedlicher Freiheitsgrade (bis zu 6) werden einschließlich der Berechnung der dynamischen Charakteristik beschrieben. Testmöglichkeiten für dynamische Charakteristika unterschiedlicher Antriebe werden unter Einbeziehung von Beispielen gezeigt.
Das Kapitel 3 vermittelt Informationen über die geschlossene Roboterstruktur, z. B. zum kinematischen Parallelogramm. Die Methodologie der Modellierung wird beschrieben und an 2 Beispielen verifiziert.
Das Kapitel 4 ist dem rechnergestützten Entwurf von Manipulatoren und Robotern gewidmet. Prozeduren zur Optimierung und eine Systematik für optimale Antriebe auf der Grundlage der Leistungs-Dynamik-Charakteristik sowie ein Programmpaket für den rechnergestützten Entwurf der gewünschten Roboterbewegung werden erläutert. Zusammenfassungen zu jedem Kapitel und kapitelweise Literaturangaben erleichtern auch ein partielles Studium. Ein Buch, das gewisse Vorkenntnisse erfordert, also für Spezialisten geeignet ist, die optimale Bewegungsabläufe von Robotern modellieren und rechnergestützt entwerfen möchten; kein Buch für den Standardanwender von Robotern. In den Bibliotheken von Roboterherstellern sollte es aber nicht fehlen.

B 2151 *H. Fuchs*

**Digital Control Systems.** Theory, Hardware, Software. Von *C. H. Houpis* und *G. B. Lamont.* New York usw.: McGraw-Hill Book Company 1985. 667 Seiten.

Dieses Buch stellt einen bemerkenswerten Beitrag zum Gebiet der zeitdiskreten Steuerungssysteme, insbesondere der digitalen Regelungen dar, da die Autoren den systemtheoretischen Aspekt im Zusammenhang mit Hardware- und Softwareproblemen behandeln. So findet der Leser neben mathematischen Beschreibungen und Analysemethoden für zeitdiskrete lineare deterministische und stochastische Systeme im Zeit- und z-Bereich, Approximationsmethoden für kontinuierliche Systeme, verschiedenen Entwurfsverfahren für Digitalregler und einführenden Betrachtungen zur Zustandsbeschreibung zeitdiskreter Systeme auch Abschnitte, die sich mit geeigneten Rechnersystemarchitekturen, mit Prinzipien der Signalwandlung, mit Echtzeitbetriebssystemen für digitale Rechnerregler und anderen Softwareproblemen sowie mit realisierungsbedingten Einflüssen auf den Entwurf befassen, wie sie durch verschiedene Abtastregime oder Kurzwortverarbeitung entstehen können.
Die Autoren wenden sich vorrangig an Studierende und Ingenieure, die sich dieses Gebiet erschließen wollen. Unter diesem Blickwinkel sind die ausführliche und anschauliche Einführung zur Motivation, die übersichtliche Stoffdarstellung unter Einbeziehung vieler Bilder und Tafeln, die Berücksichtigung zahlreicher Beispiele und Übungsaufgaben mit Lösung sowie nicht zuletzt ein Anhang zu ausgewählten theoretischen und rechentechnischen Problemen besonders begrüßenswert. Die Ausführungen werden an geeigneten Stellen durch Programmablaufpläne und Programmodule

ergänzt. Dafür sind Grundkenntnisse höherer Programmiersprachen nützlich, jedoch nicht Voraussetzung. Hinweise zur PDP-11/LSI-11-Assemblersprache werden im Anhang gegeben. Hier findet der Leser auch einige Ausführungen über mögliche Strukturen und die Bedeutung von Programmpaketen zum rechnergestützten Entwurf (CAD) digitaler und kontinuierlicher Steuerungssysteme.
Obwohl wegen der Vielfalt der behandelten Problemkreise für die Lösung anspruchsvollerer digitaler Regelungen weiterführende Literatur heranzuziehen ist, besteht doch der Wert dieses Buches in der komplexen und ingenieurtechnisch orientierten Betrachtungsweise sowie in der Übersichtlichkeit und Verständlichkeit des gebotenen Stoffes.

B 2149 *M. Günther*

**Formelsammlung zur Numerischen Mathematik mit Standard-FORTRAN-Programmen.** 4., durchgesehene und erweiterte Auflage. Von *G. Engeln-Müllges* und *F. Reutter*. Mannheim/Wien/Zürich: Bibliographisches Institut. 474 Seiten.

Dieses Buch ist im Zusammenhang mit dem von denselben Autoren verfaßten Werk „Numerische Mathematik für Ingenieure" zu beurteilen, dem bereits zuvor vom Rezensenten eine hohe Wertschätzung entgegengebracht worden ist. Die darin entwickelten Verfahren zur Lösung von Gleichungen und Gleichungssystemen, zur Berechnung von Eigenwerten und Eigenvektoren von Matrizen, zur Approximation und Interpolation stetiger Funktionen, zur numerischen Differentation und Integration sowie zur Lösung von Anfangswertproblemen bei gewöhnlichen Differentialgleichungssystemen werden hier ohne Herleitung übersichtlich und unmittelbar anwendungsbereit dargestellt. In den meisten Fällen sind in prägnanter Erweiterung zur 3. Auflage getestete, in FORTRAN IV oder FORTRAN 77 geschriebene Programme angegeben, so daß der Leser die angebotenen Algorithmen ohne zusätzlichen Aufwand rechentechnisch verwerten kann. Begrüßenswert ist der Umstand, daß im Gegensatz zur „Numerischen Mathematik für Ingenieure" ein Kapitel zur Beschreibung einiger wichtiger Verfahren zur Behandlung von Randwertproblemen bei gewöhnlichen Differentialgleichungssystemen aufgenommen wurde. Es versteht sich, daß angesichts des zur Verfügung stehenden Umfangs keine Gesamtdarstellung der Numerischen Mathematik gegeben werden konnte. So entstehen unter dem Eindruck des qualitativen Niveaus unmittelbar vielschichtige Erweiterungswünsche. Besonders dürfte in diesem Zusammenhang von Praktikern eine leicht faßliche und relativ kurze Darlegung der Methode der finiten Elemente zur Lösung partieller Differentialgleichungssysteme vermißt werden.
Insgesamt kann festgestellt werden, daß das Buch inhaltlich wertvoll und methodisch beispielgebend gestaltet ist. Es handelt sich um ein ideales Nachschlagewerk für Ingenieure und insbesondere für Rechentechniker. Bei der Durcharbeitung der angegebenen FORTRAN-Programme entsteht als Nebeneffekt ein ausgeprägtes Bedürfnis nach Verwendung strukturierter Programmiersprachen wie PASCAL oder Modula-2.

B 2157 *J. Zaremba*

**Meßelektronik.** Band 1: Grundlagen, Maßverkörperungen, Sensoren, Analoge Signalverarbeitung. Von *H. Germer* und *N. Wefers*. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH 1985. 241 Seiten, 165 Bilder.

Das Buch ist der erste Teil eines auf zwei Bände angelegten Werkes, das drei Säulen der modernen elektronischen Meßtechnik behandeln soll: die analoge Elektronik, die digitale Schaltungstechnik sowie die Mikrocomputertechnik. Im Band 1 werden nach einigen Grundlagen (Meßketten, Signalformen, Meßfehler und Auswahlkriterien), der Darstellung der Maßverkörperungen für Zeit und Frequenz, Strom, Spannung und Widerstand sowie der Beschreibung von typischen Sensoren im umfangreichsten vierten Abschnitt Elemente und Methoden der analogen Signalverarbeitung beschrieben, wobei die analoge Meßsignalumformung ihrerseits dominiert. Es ist deutlich spürbar, daß das Buch auf der Lehrerfahrung der Autoren an einer Fachhochschule beruht. Ohne besondere elektronische Vorkenntnisse kann man das Buch zur Hand nehmen und wird doch zum Ziel geführt, komplexe Meßeinrichtungen analysieren und beurteilen zu können. Die in den Text eingestreuten zahlreichen Beispiele unterstützen diese erklärte Absicht der Autoren. Außerdem fällt angenehm auf, daß die Fehlerbetrachtungen jeweils auf spezifische Eigenschaften elektronischer Komponenten gerichtet sind, aber auch ihre mögliche Reduzierung oder Kompensation mit elektronischen Mitteln einschließen. Insgesamt ist dieser erste Band eine moderne Darstellung der (analogen) elektronischen Meßtechnik. Durch Bevorzugen der Prinzipe und weniger von genauen Eigenschaften entgeht die Darstellung der Gefahr einer frühzeitigen Überalterung; außerdem ist ein solches Vorgehen für den Einsatz als studienbegleitende Literatur oder in der Weiterbildung zweckmäßig. Der Leserkreis umfaßt damit nicht nur Studierende, sondern erstreckt sich auch auf in der Praxis tätige Ingenieure, die sich der elektronischen Meßtechnik zuwenden wollen. Alles in allem ein begrüßenswertes Buch.

B 2167 *W. Richter*

**Sparse Systems. Digraph approach of large-scale linear systems theory.** Von *N. Andrei*. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH 1985. 264 Seiten.

Hier wird eine erste Monographie vorgelegt, die dem graphentheoretischen Zugang zur strukturellen Synthese linearer und zeitinvarianter Regelungssysteme gewidmet ist. Vor allem für große Systeme, die einerseits durch Schwachbesetztheit der Systemmatrizen und andererseits durch ungenaue Kenntnis der Zahlenwerte der Matrizenelemente gekennzeichnet sind, ist dieser Zugang sehr vielversprechend. Als konzeptionelle Basis wird eine Systembeschreibung in Zustandsraumdarstellung gewählt. Ein solches System wird durch gerichtete Graphen repräsentiert, und wesentliche Systemeigenschaften (z. B. Steuerbarkeit) werden graphentheoretisch charakterisiert. Dann wird gezeigt, wie man große Systeme unter dem Gesichtspunkt ihrer graphentheoretischen Zusammenhangsrelationen zerlegen kann. Bei allen anschließend behandelten regelungstechnischen Fragestellungen wird stillschweigend vorausgesetzt, daß Zustandsrückführung möglich sei. Für die Polzuweisbarkeit werden graphentheoretische Kriterien formuliert und an Beispielen illustriert. Die Störgrößenunterdrückung bildet den inhaltlichen Schwerpunkt des Buches. Durch Vergleich der gewonnenen Aussagen mit den entsprechenden des geometrischen Zugangs (im Sinne von *W. M. Wonham*) werden Zweckmäßigkeit und Transparenz des graphentheoretischen Zugangs überzeugend demonstriert. Unter Ausnutzung der für die Störgrößenunterdrückung entwickelten Werkzeuge wird schließlich das Problem der Entkopplung bei Mehrgrößensystemen überschaubar gemacht und befriedigend gelöst. Alle wesentlichen Aussagen werden anhand von Beispielen erläutert.
Das Buch wurde mit viel Enthusiasmus geschrieben. Freude und Begeisterung des Autors am graphentheoretischen Zugang übertragen sich auch auf den interessierten Leser. Dadurch fallen gelegentliche Weitschweifigkeiten und sprachliche Unebenheiten weniger ins Gewicht.

B 2182 *K. Reinschke*

**Leistungselektronik.** Von *D. Anke*. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1986. 290 Seiten, 186 Bilder, 4 Tafeln.

Das Buch basiert auf einer Grundlagenvorlesung „Leistungselektronik", die der Autor für Studenten der Fachrichtung „Energietechnik" gehalten hat. Der Schwerpunkt liegt auf der Vermittlung von Grundlagenkenntnissen über moderne leistungselektronische Halbleiterschalter und -wandler. An konkreten, leicht faßlichen Anwendungsbeispielen werden alle Wandlungsprozesse zwischen Gleich- und Wechselstromsystemen erläutert und darüber hinaus die in Stromrichteranlagen stets vorkommenden Nebeneffekte, wie Blindleistungsbelastung des Netzes, Stromrichternetzrückwirkungen und elektromagnetische Beeinflussungen, kurz behandelt. Das Buch ist in insgesamt vier Hauptabschnitte gegliedert. Im ersten einführenden Abschnitt werden die Aufgaben und Methoden der Leistungselektronik dargelegt und ein kurzer geschichtlicher Überblick über die wesentlichen Etappen der Stromrichtertechnik gegeben. Gegenstand des zweiten Abschnitts sind der Aufbau und das Betriebsverhalten der leistungselektronischen Halbleiterbauelemente und Gegenstand des dritten Abschnitts die Beschreibung und theoretische Behandlung der wichtigsten leistungselektronischen Wandlerkonzepte wie Gleichrichter, Wechselstromschalter, Wechselstromsteller, Gleichstromsteller, Wechselrichter, Wechselstrom-Wechselstrom-Direktumrichter und Zwischenkreisumrichter. Im vierten und damit letzten Abschnitt werden einige stromrichterrelevante Fragen der elektromagnetischen Verträglichkeit kurz behandelt.
Das Buch ist verständlich geschrieben und in der Stoffdarstellung sehr anschaulich. Es ist allen Interessenten zu empfehlen, die sich aus praktischer Sicht in das Fachgebiet Leistungselektronik einarbeiten wollen.

B 2176 *E. Habiger*

# KURZFASSUNGEN

*Löffler, F.; Werthschützky, R.:*

**Piezoresistive Drucksensoren für die Automatisierungstechnik**

msr, Berlin 30 (1987) 5, S. 194–199

Die Qualität moderner Automatisierungslösungen wird nach wie vor in entscheidendem Maß von der Meßgenauigkeit und Zuverlässigkeit der Sensoren bestimmt. Am Beispiel neuartiger Präzisionsdrucksensoren auf Halbleiterbasis aus dem VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow wird dargestellt, wie es durch die Nutzung mikroelektronischer Technologie gelungen ist, die Gebrauchswerteigenschaften wesentlich zu steigern. Entwurfsgrundlagen sowie erzielte Kennwerte des Primärsensors und des Gesamtgerätes werden ausführlich vorgestellt.

*Jumar, U.; Krüger, H.:*

**Untersuchungen zur Regelungsstruktur eines Industrieofens**

msr, Berlin 30 (1987) 5, S. 199–203

Auf der Grundlage eines experimentell ermittelten Modells einer Versuchsanlage werden auf industrielle Röhrenöfen übertragbare Untersuchungen zur Regelungsstruktur angestellt. Es wird gezeigt, daß der Mehrgrößencharakter der Strecke nicht zwangsläufig auf einen Mehrgrößenregler führt. Im hier beschriebenen Fall erweist sich eine dezentrale Regelungsstruktur als zweckmäßig. Geschickte Wahl der Stell- und Meßgrößen ergibt eine modifizierte Regelstrecke, die ohne wesentlichen Güteverlust sogar mit Eingrößenreglern beherrscht werden kann.

*Balzer, D.; Kirbach, V.; Koch, B.; Metz, H.:*

**Zur Strukturierung hierarchischer Prozeßsicherungssysteme**

msr, Berlin 30 (1987) 5, S. 203–205

Beim Entwurf von Mehrmikrorechnersystemen für die Prozeßsicherung stellt die Festlegung der Struktur ein besonderes Problem dar. Der Beitrag beschreibt eine Alternative zur bisher üblichen heuristischen Vorgehensweise. Für die logische Strukturierung eines hierarchischen Prozeßsicherungssystems wird ein determinierter Algorithmus vorgestellt. Es werden die wichtigsten Kriterien für die Herleitung der physischen Struktur herausgearbeitet. Sicherheit und Zuverlässigkeit werden mittels mathematischer Modelle beschrieben. Der Beitrag endet mit einem Demonstrationsbeispiel zur Berechnung der logischen Struktur.

*D. Rudolf:*

**Steuerprogramm- und Programmiersystem SPS 6000 für Fertigungskomplexe**

msr, Berlin 30 (1987) 5, S. 211–212

SPS 6000 wurde erfolgreich bei der Automatisierung von Fertigungskomplexen eingesetzt. Die maschinenorientierten Systemunterlagen unterstützen die industrielle Steuerungstechnik P 600X, die problemorientierten Systemunterlagen ermöglichen eine automatisierungsgerechte Prozeßbeschreibung und deren effektive Übersetzung in eine abarbeitbare Programminformation mittels Steuergraphen. Der Übersetzer für SGM 1520 liegt für die Betriebssysteme MEOS 1521, SCP 1715 und SCP 5120/30 vor.

*Pfeiffer, T.; Arendt, F.:*

**Einsatz der Fachsprache Steuergraph-Mikro bei der Realisierung eines Steuerungsalgorithmus für einen Fertigungskomplex**

msr, Berlin 30 (1897) 5, S. 213–216

Durch die ständig steigenden Leistungsanforderungen beim Einsatz industrieller Steuerungen ergibt sich die Notwendigkeit, den Aufwand für den Entwurf und die Erarbeitung der anwenderspezifischen Software zu minimieren. Ausgehend von den Anforderungen an ein effektives Beschreibungsmittel für eine komplexe industrielle Binärsteuerung werden die methodischen Grundlagen der Fachsprache SGM kurz erläutert und der Einsatz in der Praxis an einem Beispiel dargestellt.

*A. Schönitz:*

**Steuerprogramm Analogeingabe SPAE 9226 für die analoge Eingabebaugruppe AEE K 9226**

msr, Berlin 30 (1987) 5, S. 217–219

Das Steuerprogramm SPAE 9226 ist eine Softwarelösung zur Kommunikation zwischen einer baugruppeninternen CPU und einer externen K 1520 Rechnerkonfiguration. Als Kommunikationselement dient ein 2-Tor-RAM. Die Abarbeitung der internen Aufgaben (Tasks) erfolgt aus einer zentralen Warteschleife heraus. Der Ablauf wird über Flags gesteuert. Die Ergebnisse werden im RAM abgelegt. Der Anwender hat die Möglichkeit, beliebige Tasks in das Tasksystem des Programmes einzubeziehen.

# РЕЗЮМЕ

*Löffler, F.; Werthschützky, R.:*

**Пьезорезистивные датчики давления для техники автоматизации**

msr, Berlin 30 (1987) 5, стр. 194–199

Качество современных решений автоматизации как и по прежнему решающим образом определяется точностью измерения и надежностью датчиков. На примере новых прецизионных датчиков давления на базе полупроводников завода НП ЗАВОДЫ ПРИБОРОВ И РЕГУЛЯТОРОВ г. Тельтов изображено, каким образом использованием микроэлектронной технологии удалось значительно повышать потребительские свойства. Подробно представлены важные основы проектирования, а также полученные характеристики первичного датчика и общего прибора.

*Jumar, U.; Krüger, H.:*

**Исследования о структуре регулирования промышленной печи**

msr, Berlin 30 (1987) 5, стр. 199–203

На основе экспериментально определяемой модели опытной установки проведены исследования по структуре регулирования, переносимые на промышленные трубчатые печи. Показано, что характер нескольких величин объекта не обязательно приводит к регулятору нескольких величин. В описанном здесь случае целесообразной окажется децентральная структура регулирования. Удачным выбором регулирующей и измеряемой величин получается модифицированный объект регулирования, которым можно овладеть без значительной потери качества даже при помощи регуляторов одной величины.

*Balzer, D.; Kirbach, V.; Koch, B.; Metz, H.:*

**О структурировании иерархических систем сохранения процессов**

msr, Berlin 30 (1987) 5, стр. 203–205

При проектировании многомикровычислительных систем сохранения процессов определение структуры представляет собой особую проблему. В статье описано альтернативное решение по принятому до сих пор эвристическому принципу действия. Для логического структурирования иерархической системы сохранения процесса представлен детерминированный алгоритм. Разработаны основные критерии вывода физической структуры. Защита и надежность описаны при помощи математических моделей. Статья заканчивается примером демонстрирования для расчета логической структуры.

*Rudolf, D.:*

**Система управляющей программы и программирования SPS 6000 для комплексов производства**

msr, Berlin 30 (1987) 5, стр. 211–212

Система SPS 6000 успешно применена при автоматизации комплексов производства. Машинно-ориентированные средства программирования поддерживают промышленную технику управления P 600X, проблемно-ориентированные средства программирования обеспечивают описание процесса, пригодное для автоматизации, и его эффективный перевод в обединяемую информацию программы при помощи графов управления. Компилятор для SGM 1520 имеется для операционных систем MEOS 1521, SCP 1715 и SCP 5120/30.

*Pfeiffer, T.; Arendt, F.:*

**Применение специального языка управляющего графа-микро при реализации алгоритма управления для комплекса производства**

msr, Berlin 30 (1987) 5, стр. 213–216

Постоянно повышающимися требованиями к производительности при применении промышленных управлений получается необходимость минимизации затрат на проектирование и разработки математического обеспечения, специфического для потребителя. Исходя из требований к эффективному средству описания комплексного промышленного бинарного управления изображены и пояснены методические основы специального языка управляющего графа-микро SGM и показано его применение в практике на примере.

*Schönitz, A.:*

**Управляющая программа аналогового ввода SPAE 9226 для аналогового блока ввода AEE K 9226**

msr, Berlin 30 (1987) 5, стр. 217–219

Управляющая программа SPAE 9226 представляет собой решение математического обеспечения для коммуникации центрального устройства обработки данных, находящегося на блоке, с наружной вычислительной конфигурацией системы K 1520. Элементом коммуникации служит ОЗУ с двумя портами. Обеднение внутренних заданий производится из центрального цикла ожидания. Расписание управляется при помощи флагов. Результаты имеются в ОЗУ. Потребитель имеет возможность включать в систему задач программы любые задачи.

# SUMMARIES

*Löffler, F.; Werthschützky, R.:*

**Piezoresistive Pressure Sensors for Automation**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 194—199

The quality of modern automation solutions now as before depends essentially upon the measuring accuracy and reliability of the sensors. By means of new developed precision pressure sensors based on semiconductors and produced by the VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow the authors show how the application characteristics could considerably be increased due to the use of microelectronic technologies. The main design fundamentals as well as obtained indecies of the primary sensor and the overall device are presented in detail.

*Jumar, U.; Krüger, H.:*

**Studies on the Feedback Control Structure of an Industrial Furnace**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 199—203

On the base of a test plant model determined experimentally the authors carry out studies as to the feedback control structure transferable to industrial tube furnaces. It is shown that the multivariable character of the plant does not necessarily lead to a multivariable feedback controller. In the case described a decentralized feedback control structure proves useful. Skilled selection of the manipulating and measuring quantities results in a modified plant which may be mastered even by single-variable feedback controllers without any essential performance loss.

*Balzer, D.; Kirbach, V.; Koch, B.; Metz, H.:*

**On the Structurization of Hierarchic Process Safety Systems**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 203—205

In the design of multi-microcomputer systems for process safety the determination of the structure represents a particular problem. The authors describe an alternative for the heuristic approach usual up to now. A determined algorithm for the logical structurization of a hierarchic process safety system is presented, the most important criteria for deriving the physical structure being elaborated. Safety and reliability are described by means of mathematical models. The contribution is terminated by an example demonstrating the calculation of the logical structure.

*Rudolf, D.:*

**Control Program and Programming System SPS 6000 for Manufacturing Plants**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 211—212

SPS 6000 has successfully been applied with the automation of manufacturing plants. The machine-oriented system documents support the industrial control P 600X, the problem-oriented documents allowing an automation-related process description and its efficient translation into a program representation ready for execution by means of control graphs. The SGM 1520 translator is available for the operating systems MEOS 1521, SCP 1715, and SCP 5120/30.

*Pfeiffer, T.; Arendt, F.:*

**Application of the Special Language Steuergraph-Mikro in Implementing a Control Algorithm for a Manufacturing Plant**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 213—216

Due to the performance requirements increasing continuously in the use of industriel controls the demand arises to minimize the expense necessary for design and elaboration of the application software. Starting from the requirements as to an efficient means of description for a complex industrial binary control the authors briefly explain the methodical fundamentals of the special language SGM and present its use in practice by means of an example.

*Schönitz, A.:*

**Control Program Analog Input SPAE 9226 for the Analog Input Assembly AEE K 9226**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 217—219

The control program SPAE 9226 represents a software solution for the communication between a CPU situated within the assembly and an external K 1520 microcomputer configuration, a two-port RAM serving as communication element. The execution of the internal tasks is started from a central waiting loop, the process being controlled by flags and the results being stored in the RAM. The user has the possibility to incorporate any tasks into the task system of the program.

# RÉSUMÉS

*Löffler, F.; Werthschützky, R.:*

**Les capteurs de pression piézo-résistifs pour l'automatisation**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 194—199

La qualité des solutions d'automatisation modernes est essentiellement déterminée, après comme avant, par la précision de mesure et la fiabilité des capteurs. A l'aide de l'exemple des nouveaux capteurs de pression de précision basés sur semi-conducteur et produits par le VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow, les auteurs décrivent comment on a réussi à augmenter considérablement les caractéristiques d'emploi par l'utilisation de la technique micro-électronique. Les fondements de projet principaux ainsi que les indices du traducteur primaire et du dispositif total sont présentés.

*Jumar, U.; Krüger, H.:*

**Des études sur la structure de réglage d'un four industriel**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 199—203

Sur la base d'un modèle d'installation d'essai déterminé expérimentalement, les auteurs s'occupent d'études quant à la structure de réglage transférables aux four tubulaires industriels. Il est montré que le caractère multi-dimensionnel du processus ne conduit pas absolument à un régulateur multi-dimensionnel. Dans le cas décrit, une structure décentralisée se montre utile. Par un propre choix des grandeurs de manoeuvre et de mesure, un objet à asservier modifié résulte qui peut être maitrisé même par des régulateurs à une variable sans perte essentielle de performance.

*Balzer, D.; Kirbach, V.; Koch, B.; Metz, H.:*

**Sur la structurisation des systèmes de sécurité de processus hiérarchiques**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 203—205

Dans le projet de systèmes à plusieurs micro-ordinateurs pour la sécurité de processus, la détermination de la structure représente un problème particulier. Les auteurs décrivent une alternative pour la méthode heuristique utilisée jusqu'ici. Pour la structurisation logique d'un système hiérarchique de sécurité de processus, on présente un algorithme déterminé. Les critères les plus importants pour la dérivation de la structure physique sont élaborés. La sécurité et la fiabilité sont décrits par des modèles mathématiques. La contribution est terminée par un exemple démontrant le calcul de la structure logique.

*Rudolf, D.:*

**Le système de programme de commande et de programmation SPS 6000 pour les installations de fabrication**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 211—212

SPS 6000 était employé avec succès dans l'automatisation d'installations de fabrication. Les documents de système orientés sur machine supportent la commande industrielle P 600X, les documents de système orientés sur problème permettant une description de processus adaptée à l'automatisation et sa traduction efficace dans une représentation de programme exécutable à l'aide de graphes de commande. Le traducteur SGM 1520 est disponible pour les systèmes d'exploitation MEOS 1521, SCP 1715 et SCP 5120/30.

*Pfeiffer, T.; Arendt, F.:*

**L'emploi du langage spécial Steuergraph-Mikro dans la réalisation d'un algorithme de commande pour une installation de fabrication**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 213—216

Par suite des exigences de performance accroissant de plus en plus dans l'application des commandes industrielles, la nécessité résulte de minimaliser la dépense pour le projet et l'élaboration du logiciel d'application. A partir des exigences pour un moyen de description efficace pour une commande binaire industrielle, les auteurs expliquent brièvement les fondements méthodiques du langage spécial SGM et présentent son emploi dans la pratique à l'aide d'un exemple.

*Schönitz, A.:*

**Le programme de commande entrée analogique SPAE 9226 pour l'ensemble d'entrée analogique AEE K 9226**

msr, Berlin 30 (1987) 5, pp. 217—219

Le programme de commande SPAE 9226 représente une solution en logiciel pour la communication entre une unité centrale de traitement qui se trouve au dedans de l'ensemble et une configuration externe de micro-ordinateur K 1520. Une mémoire RAM à deux portes sert comme élément de communication. L'exécution des tâches internes est provoquée à partir d'une boucle d'attende centrale. Les résultats sont emmagasinés dans la mémoire RAM. L'utilisateur a la possibilité d'incorporer des tâches quelconques dans le système de tâche du programme.

# NEUE BÜCHER AUS DER UDSSR

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Aliev, E.; Jakubov, M.*: Upravlenie složnymi chimiko-technologičeskimi processami obogatitel'nogo proizvodstva (Steuerung der komplizierten chemisch-technologischen Anreicherungsproduktionsprozesse). Fan(UzSSR). 3. Quart. 1987. NK 86-43 (130).

[2] Upravlenie processami fermentacii s primeneniem mikroEVM (Steuerung von Fermentierungsprozessen mit Anwendung von Mikrorechnern). Fan(UzSSR). 4. Quart. 1987. NK 86-43 (222).

[3] Metody i sredstva preobrazovanija informacii. Vyp. 7: Obrabotka i peredača videoinformacii (Methoden und Mittel zur Informationstransformation. Ausg. 7: Verarbeitung und Übertragung von Videoinformation). Zinatne (LatvSSR). 2. Quart. 1987. NK 86-44 (76).

[4] Problemy slučajnogo poiska. Vyp. 11 (Probleme der stochastischen Suche. Ausg. 11) Zinatne (LatvSSR). 1. Quart. 1987. NK 86-44 (79).

[5] *Rastrigin, L.; Erenštejn, M.*: Adaptivnoe obučenie s adaptivnoj model'ju obučaemogo (Adaptives Lernen mit adaptivem Lernmodell). Zinatne (LatvSSR). 2. Quart. 1987. NK 86-44 (117).

[6] *Mirachmedov, D.; Egorov, S.*: Modelirovanie i optimizacija v ASUTP (Modellierung und Optimierung in ASUTP). Mechnat (UzSSR) 1. Quart. 1987. NK 86-46 (59).

[7] Avtomatizacija i mechanizacija proizvodstvennych processov na železnodorožnom transporte (Automatisierung und Mechanisierung von Produktionsprozessen im Eisenbahntransport). Transport. 4. Quart. 1987. NK 86-46 (76).

[8] Avtomatizacija sudovych proizvodstvennych processov (Automatisierung von Schiffsproduktionsprozessen). Transport. 3. Quart. 1987. NK 86-46 (87).

[9] Metodičeskie materialy po paketam prikladnych programm. Vyp. Jazyk programmirovanija PASKAL' T-80 (Methodische Materialien zu Anwenderprogrammen. Ausg.: Programmiersprache PASCAL T-80). Meždun. centr. nauč. i techn. informacii. 4. Quart 1987. NK 86-35 (41).

[10] Metodičeskie materialy po paketam prikladnych programm. Vyp. Jazyk programmirovanija PL/1 (Methodische Materialien zu Anwenderprogrammen. Ausg. Programmiersprache PL/1). Meždun. centr nauč. i techn. informacii. 4. Quart. 1987. NK 86-35 (42).

[11] Osnovy informatiki (Grundlagen der Informatik). Izd-vo Universitetskoe (BSSR). 1. Quart. 1987. NK 86-35 (43).

[12] *Ginteckij, A.; Demidion, V.; Vereščagin, E.*: Celevaja kompleksnaja programma vnedrenija robototechniki i GAP (Komplexes Zielprogramm zur Einführung der Robotertechnik und flexibler Automatisierung). Technika (USSR). 1. Quart. 1987. NK 86-35 (73).

[13] *Evseev, A.; Kozačkov, L.; Dnistran, F.*: Avtomatizacija planirovanija na promyšlennom predprijatii (Automatisierung der Planung in Industriebetrieben). Technika (USSR). 1. Quart. 1987. NK 86-35 (77).

[14] *Kalinbolockij, Ju.; Solodovnik, A.; Sundučkov, K.*: Avtomatizirovannoe proektirovanie elektronnych schem (Automatisierte Projektierung elektronischer Schaltungen). Technika (USSR). 3. Quart. 1987. NK 86-35 (97).

[15] Avtomatizirovannye sistemy upravlenija gibkimi technologi (Automatisierte Systeme zur Steuerung flexibler Technologien). Technika (USSR). 4. Quart. 1987. NK 86-35 (99).

[16] *Verlan', A.; Širočin, V.*: Informatika i EVM (Informatik und EDV-Anlagen). Technika (USSR). 4. Quart. 1987. NK 86-35 (100).

[17] *Kanygin, Ju.*: Industrija informatiki (Industrie der Informatik). Technika(USSR). 3. Quart. 1987. NK 86-35 (101).

[18] *Petrenko, P.; Muraškin, A.*: Programmnoe obespečenie i architektura setej EVM (Programmtechnische Unterlagen und Architektur von Rechnernetzen). Technika(USSR). 3. Quart. 1987. NK 86-35 (102).

[19] Proektirovanie integrirovannych baz dannych (Projektierung integrierter Datenmassive). Technika (USSR). 1. Quart. 1987 NK 86-35 (103).

[20] Spravočnik po mikroprocessornym ustrojstvam (Nachschlagwerk zu Mikroprozessoranlagen). Technika (USSR). 1. Quart. 1986. NK 86-35 (105).

[21] *Kiklevič, Ju.*: Šachtnaja robototechnika (Schacht-Robotertechnik). Technika(USSR). 2. Quart. 1987. NK 86-35 (118).

[22] *Maslov, V.; Krupko, P.; Suchovirskij, B.*: Informacionnoe i programmnoe obespečenie gibkich proizvodstv v mašinostroenii (Informationelle und programmtechnische Unterlagen für flexible Produktion im Maschinenbau). Technika (USSR). 3. Quart. 1987. NK 86-35 (126).

[23] *Timčenko, V.; Suchomlin, A.*: Robotizacija svaročnogo proizvodstva (Robotereinsatz im Schmelzbetrieb). Technika(USSR). 1. Quart. 1987. NK 86-35 (142).

[24] Avtomatizacija proektirovania v elektronike (Automatisierung der Projektierung in der Elektronik).
Ausg. 35. Technika(USSR). 2. Quart. 1987. NK 86-35 (160),
Ausg. 36. Technika (USSR). 4. Quart. 1987. NK 86-35 (161).

[25] Adaptivnye sistemy avtomatičeskogo upravlenija. Vyp. 15 (Adaptive Systeme der automatischen Steuerung. Ausg. 15). Technika (USSR). 2. Quart. 1987. NK 86-35 (163).

[26] Verojatnostnye metody i kibernetika. Vyp. 22 (Wahrscheinlichkeitstheoretische Methoden und Kybernetik. Ausg. 22). Izd-vo Kazan. un-ta. 3. Quart. 1987. NK 86-35 (165).

[27] Priem i obrabotka informacii v složnych informacionnych sistemach (Empfang und Verarbeitung von Information in komplizierten Informationssystemen. Ausg. 15). Izd-vo Kazan. un-ta. 2. Quart. 1987. NK 86-35 (195).

[28] Prikladnoe programmnoe obespečenie Edinoj sistemy EVM i sistemy mini-EVM (Programmtechnische Unterlagen des Einheitlichen EDV-Anlagen-Systems und des Kleinrechnersystems). Meždunar. centr. nauč. i techn. informacii. 3. Quart. 1987. NK 86-35 (196).

[29] Problemy mašinostroenija i avtomatizacii (Probleme des Maschinenbaus und der Automatisierung). Meždunar. centr. nauč. i techn. informacii.
Ausg. 10. 4. Quart. 1987. NK 86-35 (197),
Ausg. 11. 4. Quart. 1987. NK 86-35 (198),
Ausg. 12. 4. Quart. 1987. NK 86-35 (199).

[30] *Zagrutdinov, G.*: Dostovernost' avtomatizirovannogo kontrolja složnych ob'ektov (Zuverlässigkeit automatisierter Kontrolle in komplizierten Systemen). Izd-vo Kazan. un-ta. 2. Quart. 1987. NK 86-35 (318).

[31] Rezervirovanie dannych v setjach EVM (Datenreservehaltung in Rechnernetzen). Izd-vo Kazan. un-ta. 3. Quart. 1987 NK 86-35 (329).

msr 8662

**messen · steuern · regeln**

**Herausgeber:** Kammer der Technik, Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)

**Verlag:** VEB Verlag Technik. Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, DDR-1020, Telegrammadresse: Technikverlag Berlin; Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd

**Verlagsdirektor:** Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*

**Redaktion:** Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362)
Dr.-Ing. *Jürgen Wede*, Redakteur (Telefon: 2870374)

**Gestaltung:** *Karen Wohlgemuth* (Telefon: 2870288)

**Lizenz-Nr.:** 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik

**AN (EDV):** 15936

**Erscheinungsweise:** monatlich 1 Heft

**Heftpreis:** 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebs BUCHEXPORT zu entnehmen.

**Gesamtherstellung:** VEB Druckerei „Thomas Müntzer", Bad Langensalza, 5820

**Anzeigenannahme:** Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201, Berlin, 1020. Anzeigenpreisliste Nr. 7; Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR-1157

**Erfüllungsort und Gerichtsstand:** Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in andere Sprachen vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.

**Bezugsmöglichkeiten:**

**DDR:** sämtliche Postämter

**SVR Albanien:** Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana

**VR Bulgarien:** Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia

**VR China:** China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing

**ČSSR:** PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezska 11, 12000 Praha 2; PNS, Ústredná Expedicia a Dovoz Tlače, Posta 022 88547 Bratislava

**SFR Jugoslawien:** Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeče MLADOST, Ilica 30, Zagreb

**Koreanische DVR:** CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang

**Republik Kuba:** Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana

**VR Polen:** C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa

**SR Rumänien:** D.E.P. Bucureşti, Piata scienteii, Bucureşti

**UdSSR:** Städtische Abteilungen von Sojuzpečat oder Postämter und Postkontore

**Ungarische VR:** P.K.H.I., Külföldi Előfizetési Osztály, P.O.Box 16, 1426 Budapest

**SR Vietnam:** XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi

**BRD und Berlin (West):** ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30

**Österreich:** Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge

**Schweiz:** Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich

**Alle anderen Länder:** örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Postfach 160, Leipzig, DDR-7010 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010.

## Abnahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Abnahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. der Institution enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (S. 28) messen · steuern · regeln 1987 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

## Speicherprogrammierbare Steuerungen für Anlagen kleinen und mittleren Umfanges

Am Mittwoch, dem 20. Mai 1987, findet im Deutschen Hygiene-Museum in der DDR, Lingnerplatz 1, Dresden, 8010, Steinsaal, die o. g. Tagung statt.
Die Tagungsgebühren betragen 80,— M (40,— M für KDT-Mitglieder gegen Vorlage des gültigen Mitgliedsbuches). Anfragen und Anmeldungen werden an die Kammer der Technik, Bezirksvorstand Dresden, SB Wissenschaft und Technik, 8020 Dresden, Basteistraße 5, Telefon 2326210, App. 32, erbeten.

## 10. Wissenschaftlich-technische Konferenz der WGMA

Am 28. und 29. Oktober 1987 wird vom Fachausschuß 14 der Wissenschaftlich-technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in Warnemünde die 10. Wissenschaftlich-technische Konferenz zum Thema „Elektronische Automatisierungssysteme"
durchgeführt. Diese traditionelle Veranstaltung der WGMA hat in der Vergangenheit stets 300 bis 500 Spezialisten aus der DDR-Industrie, dem Hochschulwesen und der AdW zu fruchtbaren Diskussionen zusammengeführt.

Die diesjährigen Schwerpunktthemen sind:
- neue Automatisierungsgeräte und -systeme
- Expertensysteme in der Automatisierungstechnik
- Elektronische Schiffsautomatisierung.

Es ist vorgesehen, auch 1987 wieder neue, moderne Automatisierungskonzepte, neue Automatisierungsgeräte und erste Anwendungserfahrungen vorzustellen.
Anfragen sind zu richten an:
Kammer der Technik
Präsidium-WGMA
Postfach 1315
Berlin
1086

## 3. Tagung „Technische Diagnostik an elektrotechnischen Betriebsmitteln"

Am 28. und 29. Oktober 1987 findet in Schkopau die o. g. Tagung mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern statt. Veranstalter sind die Fachsektion Elektrotechnik in der BS der KDT im Kombinat VEB Chemische Werke Buna gemeinsam mit dem WB Hochspannungstechnik in der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden.
Die Tagung befaßt sich mit der Entwicklung und Anwendung von Diagnosegeräten und -methoden, mit Auswertegeräten und -methoden für die Entwicklungs-, Fertigungs- und Instandhaltungsphase sowie für den laufenden Betrieb.
Erörtert werden sollen auch die Notwendigkeit und die Möglichkeit gezielter Untersuchungen an einzelnen Betriebsmitteln in speziellen Versuchsständen. Die Nutzung rechentechnischer Einrichtungen findet dabei Beachtung.
Das Tagungsprogramm erfaßt weiterhin Generatoren, Transformatoren, Schaltgeräte, Kabel und Schaltanlagen sowohl bezüglich ihrer elektrischen und thermischen als auch ihrer mechanischen Beanspruchung.
Die Vorträge sind z. T. mit praktischen Vorführungen verbunden.
Anmeldungen von Vorträgen, Vorführungen und von Teilnehmern sind zu richten an:
Obering. Dipl.-Ing. *O. Maus*
BS der KDT, FS Elektrotechnik
Kombinat
VEB Chemische Werke Buna
C 952
Schkopau
4212
Telefon: Merseburg 49/2780
Telex: 47129135dd.

## Fachtagung Automatisierung Dresden 1988 (21. Fachkolloquium Informationstechnik)

Die Sektion Informationstechnik der Technischen Universität Dresden führt vom 3. bis 5. Februar 1988 die o. g. Fachtagung zu Problemen der Automatisierung durch.
Die Tagung wird vom Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung ausgerichtet.
In 10 Sektionen stellen Fachleute des In- und Auslandes in etwa 130 Vorträgen mit anschließender Diskussion neue Forschungsergebnisse und technische Entwicklungen zur Automatisierung (Analyse, Entwurf, Instrumentierung, Inbetriebnahme, Erfahrungen) in den Gebieten
- Automatisierungskonzepte und -strategien
- Softwareprobleme in der Automatisierungstechnik
- Geräte und Gerätesysteme in der Automatisierungstechnik
- Fertigungsautomatisierung
- Roboter
- Automatisierung von Prozessen der Land- und Forstwirtschaft sowie der Umwelt und Biotechnologie
- Automatisierung der experimentellen Forschung
- Automatisierung energietechnischer Prozesse
- Automatisierung in der Verfahrens- und Verarbeitungstechnik
- Technische Diagnose und Therapiesteuerung

vor.
Außerdem sind fünf Plenarvorträge zu aktuellen Automatisierungsproblemen in den genannten Anwendungsgebieten und zu übergreifenden Themen vorgesehen. Darüber hinaus finden zwei Rundtischgespräche statt.
Voranmeldungen sind bis zum 15. September 1987 zu richten an:
Technische Universität Dresden
Sektion 9 Informationstechnik
Bereich 3 Regelungstechnik und Prozeßsteuerung
Kennwort: Tagung 1988
Mommsenstraße 13
Dresden
8027
Telefon: 4633439; 4634025.

## INFO '88

Die Gesellschaft für Informatik der DDR führt gemeinsam mit Einrichtungen der Akademie der Wissenschaften der DDR und des Hochschulwesens der DDR, mit den Kombinaten Robotron, Datenverarbeitung und Nachrichtenelektronik und der WGMA in der KDT vom 22. bis 27. Februar 1988 an der Technischen Universität Dresden die INFO '88 als nationalen Kongreß der DDR-Informatiker durch. Anliegen ist es, den aktuellen Leistungsstand der Informatik als Schlüsseltechnologie bei der breiten Rationalisierung unserer Volkswirtschaft — von den Grundlagen bis zu den Anwendungen — zu demonstrieren, über den Stand der Forschung und Trends auf Schwerpunktgebieten zu informieren und den Entwicklungsstand von Teilgebieten der Informatik darzustellen.
Der Kongreß erfolgt im Plenum und in Fachsektionen zu folgenden Themenkomplexen:

*1. Theoretische Grundlagen*
Algebraische und logische Grundlagen der Programmierung, Kompliziertheitstheorie und innovative Algorithmenkonzepte, mathematische Grundlagen der künstlichen Intelligenz und des Datenbankentwurfs

2. Computertechnik
Computerarchitektur, Computersysteme, Spezialprozessoren sowie Computernetze (lokale, Weitverkehrsnetze, Einsatz und Betrieb)

*3. Software*
rechnergestützte Entwicklung und Produktion, sprachliche Beschreibungs- und Programmierwerkzeuge, Programmier- und Datenbanktechniken

*4. Künstliche Intelligenz*
natürliches Sprachverstehen, KI-Sprachen, Wissensverarbeitung und Expertensysteme, kognitive Systeme

*5. Komplexe Anwendung*
CAD, CAM, CIM; Bildverarbeitung, Informationsbeziehungen im Büro, Modellierung und Verhaltenssimulation komplexer Systeme, Experimentenautomatisierung, automatisierte Informationsdienste in Wissenschaft und Technik

*6. Aus- und Weiterbildung*
Informatik-Grundausbildung in Schulen, Berufs- und Hochschulen Weiterbildung der Werktätigen, Computer im Bildungswesen

*7. Gesellschaft und Informatik*
Informationstechnik und Information als Faktor der intensiv erweiterten Reproduktion, Gestaltung informationeller Prozesse in der sozialistischen Volkswirtschaft, Einfluß der Informatik auf das System der Wissenschaften.

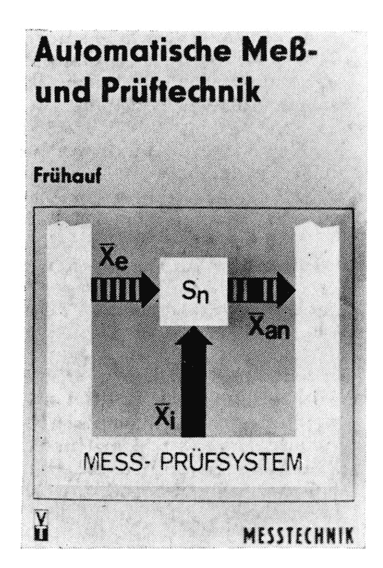
Vorsitzender des Programmkomitees: Prof. Dr. *D. Hammer*, Vorsitzender der Gesellschaft für Informatik der DDR
Vorsitzender des Vorbereitungskomitees: Prof. Dr. *H. Tzschoppe.*

Anfragen sind an die Gesellschaft für Informatik der DDR, Clara-Zetkin-Str. 105, Berlin, 1086, zu senden.

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 30 (1987) 5, S. 193—240

13750 5 159 549 964
APW
4011 2001 1003 SHAT 19
**1235*


# Neuerscheinungen und Nachauflagen




**Automatische Meß- und Prüftechnik**

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Frühauf. Reihe Meßtechnik. 1. Auflage. Etwa 240 Seiten, 167 Bilder, 26 Tafeln, Kunstleder, DDR etwa 30,— M, Ausland etwa 40,— DM. Bestellangaben: 5537450/Frühauf, Prüftechnik

Behandelt werden die Grundlagen der rechnergesteuerten Meß- und Prüftechnik sowie der technischen Diagnostik. Die Schwerpunkte sind dabei Meß- und Prüfstrategie, Gerätetechnik, programmtechnische Voraussetzungen und Lösungen, prüffreundliche Systemgestaltung, Struktur und Funktion automatischer Meß- und Prüfsysteme und deren Komponenten. Die Darstellung erfolgt in engem Bezug zu praktischen Beispielen. Zahlreiche Bilder und Diagramme tragen zum guten Verständnis dieses wichtigen Gebietes der rechnergesteuerten Ingenieurarbeit bei.
Gliederung: Einführung · Prüf- und meßtechnische Grundlagen · Softwaregrundlagen · Interfacesysteme der automatischen Meß- und Prüftechnik · Systemkomponenten · Systembeispiele · Schlußbemerkungen.



**VEB VERLAG TECHNIK BERLIN**

*Auslieferung in diesen Tagen durch den Fachbuchhandel*

**VEM-Handbuch Elektromagnetische Verträglichkeit**

Grundlagen, Maßnahmen, Systemgestaltung

Herausgegeben vom Zentrum für Forschung und Technologie des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin. 1. Auflage. 376 Seiten, 226 Bilder, 93 Tafeln, Kunstleder, DDR 39,— M, Ausland 52,— DM. Bestellangaben: 5537194/VEM-Handb. Verträglichkeit

Eine Darstellung der Grundlagen und Maßnahmen zur Beherrschung des elektromagnetisch verträglichen Zusammenwirkens von leistungselektrischen und informationselektronischen Betriebsmitteln in Elektroenergie- und Automatisierungsanlagen, erläutert anhand konkreter Beispiele (EDV-Anlagen, Umspannwerke, Schiffselektrik, Blitzschutz, Funkstörungen, Stromrichter-Netzrückwirkungen).

**Abschätzung der Genauigkeit von Meßergebnissen**

Von Prof. em. Dr. rer. nat. Paul Täubert. 2., bearbeitete Auflage. 76 Seiten, 15 Bilder, 14 Tafeln, Broschur, DDR 8,— M, Ausland 14,— DM. Bestellangaben: 5537143/Täubert, Meßergebnisse

Gegenüber der 1. Auflage wurde das Verfahren zur Zusammenfassung der Vertrauensgrenzen zur Meßunsicherheit durch ein moderneres ersetzt; das Bayessche Problem wurde zusätzlich aufgenommen.




**Grundlagen der Konstruktion**

Elektronik · Elektrotechnik · Gerätetechnik

Lehrbuch für Elektroingenieure. Von einem Autorenkollektiv. Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Krause. 4., bearbeitete Auflage. Etwa 280 Seiten, 339 Bilder, 63 Tafeln, Leinen, DDR etwa 20,— M, Ausland etwa 28,— DM. Bestellangaben: 5537418/Krause, Konstruktion

Die Auflage berücksichtigt alle Standard- und Normenänderungen; zusätzliche Verweise auf DIN-Normen tragen den engeren internationalen Handelsverflechtungen Rechnung.